NATIONAL GEOGRAPHIC

LA CONCIENCIA

La más enigmática de las funciones cerebrales

La conciencia ocupa el centro de la investigación neurocientífica actual. Ello se debe en parte al desarrollo de tecnologías que permiten ver literalmente qué partes del cerebro se activan cuando actuamos conscientemente. El mecanismo de acuerdo al cual surge, no obstante, sigue siendo uno de los mayores enigmas de la naturaleza. Está claro que cumple una función clave en la supervivencia, puesto que es posible detectar cómo ha evolucionado en el reino animal. Incluso estamos cerca de delimitar dónde reside. Ahora bien ¿será posible algún día explicar científicamente la realidad íntima y subjetiva de lo que significa ser consciente?

José María Valderas es biólogo, filósofo y fundador de la revista *Mente y cerebro*.

LAS FRONTERAS DE LA CIENCIA

LA CONCIENCIA

La más enigmática de las funciones cerebrales

LAS FRONTERAS DE LA CIENCIA

Dirección científica: Javier DeFelipe

© José María Valderas por el texto
© 2017, RBA Coleccionables, S.A.U.

Realización: EDITEC

Diseño cubierta: Llorenç Martí

Diseño interior: tactilestudio

© Ilustraciones: Francisco Javier Guarga Aragón

Fotografías: Getty Images: cubierta, 99, 133ai; Archivo RBA: 23; Marc Lieberman: 37ai; Cordon Press: 37ad; cortesía Christof Koch: 37b, 83; © Fumihiro Kano / Universität Kyoto: 71; Clay Reid, Allen Institute; Wei-Chung Lee, Harvard Medical School; Sam Ingersoll, graphic artist: 119; tedxgoteborg: 127a; Caltech, Keck USC, Rancho los amigos Team: 127b; Age Fotostock: 133 adb

ISBN (OC): 978-84-473-9071-7
ISBN: 978-84-473-9075-5
Depósito legal: B.19466-2017

Impreso en Liberdúplex

Impreso en España - *Printed in Spain*

Para México

Edita

RBA Editores México, S. de R.L. de C.V. Av. Patriotismo 229, piso 8, Col. San Pedro de los Pinos, CP 03800, Deleg. Benito Juárez, Ciudad de México, México

Fecha primera publicación en México: abril 2018.

Editada, publicada e importada por RBA Editores México, S. de R.L. de C.V. Av. Patriotismo 229, piso 8, Col. San Pedro de los Pinos, CP 03800, Deleg. Benito Juárez, Ciudad de México, México

Impresa en Liberdúplex, Crta. BV-2249, Km. 7.4, Pol. Ind. Torrentfondo 08791 Sant Llorenç d'Hortons, Barcelona

ISBN: 978-607-9495-24-4 (Obra completa)
ISBN: 978-607-9495-28-2 (Libro)

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

SUMARIO

Introducción 7

01 **Los retos de una ciencia de la conciencia** 13

02 **La evolución de la conciencia** 47

03 **El cerebro, base del yo** 77

04 **El futuro del estudio de la conciencia** 113

Lecturas recomendadas 137

Índice 139

INTRODUCCIÓN

Durante siglos, los filósofos se reservaron el estudio e interpretación de la naturaleza de la mente. Un privilegio que la ciencia le ha arrebatado al entrar de lleno en el ámbito del estudio del cerebro. ¿Significa esto que la conciencia se ha visto despojada de su aureola de misterio? Todo lo contrario. Con cada nuevo descubrimiento en el ámbito de la neurociencia o la biología, con cada nueva herramienta tecnológica puesta a disposición de los investigadores para escudriñar la actividad cerebral, la complejidad y sutileza de la conciencia se nos revela cada vez más y más asombrosa.

No es solo que se hayan encontrado trazas de actividad consciente donde se creía extinguida por completo, como en el estado vegetativo, sino que, al posar la mirada en el reino animal, descubrimos numerosos y sugestivos rastros de su presencia. Siempre se ha creído que la principal ventaja evolutiva de la conciencia era la capacidad de analizar el entorno y planificar cómo adaptarse a él, pero cada vez cobra más cuerpo la hipótesis de que su contribución fundamental a la condición humana es la de potenciar nuestra empatía y, por tanto, nuestra capacidad de cooperar. Incluso el

lenguaje, el más humano de los comportamientos sociales, puede deberse a la conciencia. Investigaciones recientes ofrecen indicios de que algunos primates podrían tener también una capacidad parecida de proyectar a sus semejantes creencias y deseos.

En la raíz de ese halo de misterio que sigue rodeando la conciencia se encuentra la experiencia subjetiva, la cualidad especial de la vivencia consciente que solo se puede describir en primera persona. Es decir, lo que siento al percibir un color, reconocer una nota, sentir un dolor o un placer intenso. Este tipo de experiencias, específicas de la conciencia, se conocen como *qualia*. Los qualia constituyen un reto formidable a toda teoría científica de la conciencia. Por ejemplo, cuando se afirma que el dolor tiene una u otra causa física, queda parte de ello sin explicar. Supongamos que logramos identificar el mecanismo neural que da cuenta del dolor; por ejemplo, la excitación de la fibra C. Pero habrá que explicar por qué nuestra experiencia del dolor se siente de la forma en que lo sentimos. ¿Por qué la excitación de la fibra C produce esto y no lo otro, o no produce nada en absoluto? No está claro que se llegue a saber, por métodos científicos, por qué la experiencia consciente tiene las cualidades que tiene. El carácter subjetivo de la experiencia consciente casa mal con la objetividad que la ciencia exige.

No por ello debe abandonarse el esfuerzo. La conciencia no se reduce a las experiencias. De hecho, existe una multitud de estados conscientes caracterizados no por sus qualia sino por la función que desempeñan. Por ejemplo, cuando sopesamos opciones y tomamos una decisión no estamos especialmente pendientes de cómo nos sentimos al hacerlo, y de hecho sería extraño preguntárnoslo. A este tipo de conciencia se le llama intencional, y en la medida que está orientada a un fin, puede ser descrita de forma objetiva. Es sobre este tipo de conciencia que la ciencia ha fijado su mirada con especial interés. A la hora de buscar un origen físico, se ha escogido, como no podía ser de otra manera, el cerebro. Es por ello que la explosión reciente de trabajos sobre la concien-

cia coincide en el tiempo con el desarrollo de nuevas herramientas empleadas en el estudio del cerebro. El refinamiento de las técnicas de formación de imágenes, la aplicación del registro de una sola célula y las diversas formas de intervención neural (por ejemplo, la estimulación del cerebro profundo y la estimulación magnética transcraneana) han generado nuevas formas de obtención de datos para una bisoña ciencia de la conciencia.

De entre todas estas técnicas, tal vez las más decisivas para el estado actual de nuestro conocimiento hayan sido las de formación de imagen, que permiten la observación directa del interior cerebral y el estudio de sus reacciones ante diferentes conductas. Cuando las células de un área cerebral determinada se manifiestan particularmente activas, su demanda metabólica se incrementa y, por consiguiente, se canaliza más sangre hacia esa zona. Este incremento en el flujo sanguíneo altera el magnetismo local, alteraciones que pueden registrarse mediante resonancia y traducirse a imágenes. Esta y otras técnicas tienen la gran virtud de ser muy poco invasivas con el sujeto observado. Antes del desarrollo de dichas técnicas, la mayor parte de nuestro conocimiento acerca de la estrecha vinculación entre conciencia y cerebro provenía del examen de pacientes neurológicos cuyas lesiones la habían alterado. Gracias a él se pudo constatar, por ejemplo, que el daño producido en estructuras evolutivamente antiguas del tronco cerebral parecía privar completamente de conciencia a las personas, dejándolas en un persistente estado de coma, o similar.

Incluso aceptando que la experiencia consciente no es observable directamente, la medición de la actividad cerebral permite al menos relacionarla con aquellos estados conscientes que se dan de forma simultánea. A estos patrones sutiles y transitorios de actividad cerebral que subyacen bajo cada experiencia consciente se les denomina correlatos neurológicos de la conciencia. Si se acepta como premisa que el cerebro es el lugar físico de la conciencia, cualquier percepción deberá corresponderse con la actividad de

una población dada de neuronas. Parte del foco del estudio neurológico de la conciencia se centra en hallar este conjunto mínimo de episodios neuronales que den origen a un aspecto específico de un estado consciente. No se trata de una empresa fácil. En primer lugar, hay que evitar confundir correlación con causación. No todo lo que sucede de forma coincidente está relacionado. De qué forma una pauta neuronal determinada causa un estado consciente es una incógnita que está muy lejos de haberse despejado. Se supone que a medida que vayamos conociendo mejor el funcionamiento del cerebro se aclarará cuál puede ser el mecanismo que lleva de uno a otro. Y ahí reside la segunda gran dificultad para una ciencia empírica de la conciencia: la necesidad de disponer de un conocimiento profundo del cerebro del que, hoy por hoy, se carece.

Y es que a medida que nos adentramos en el estudio del rey de los órganos, la complejidad descubierta en un plano se suma a la complejidad hallada en el siguiente. Sin solución de continuidad se van manifestando procesos de sorprendente elegancia. Ocupan un lugar destacado las investigaciones en torno al córtex, el tálamo y el estriado, que se cuentan entre las principales áreas del cerebro. Pero un área cerebral pequeña y, hasta la fecha, bastante desconocida, el claustro, asoma en el horizonte. ¿Por qué? Por una razón poderosa: con creciente claridad se advierte una estrecha vinculación entre esa estructura y la conciencia. Los argumentos en favor de dicha vinculación descansan en las conexiones bidireccionales entre el claustro y la mayoría de las regiones del cerebro. Añadamos que el claustro interviene en integraciones multisensoriales, una propiedad que caracteriza al concepto de conciencia. Pero aunque esa u otras regiones pudieran tener la llave de la conciencia, no parece verosímil que constituyan la única fuente. Diferentes aspectos de la conciencia son probablemente generados por regiones cerebrales diferentes. La lesión en áreas cerebrales visuales del córtex cerebral, por ejemplo, pueden producir déficits extraños limitados a la conciencia visual. De nuevo, despunta la necesidad de com-

prender la naturaleza y función del cerebro humano; de buscar los principios fundamentales de su comportamiento y crear modelos que remeden su mecanismo de acción. Estamos hablando de los que son, posiblemente, los retos principales para la ciencia y la ingeniería de este siglo. No por casualidad tanto la administración estadounidense como las autoridades europeas han impulsado sendos proyectos internacionales, la iniciativa BRAIN y el Human Brain Project (HBP), respectivamente, para apoyar a la investigación en aquel ámbito, dar a conocer los resultados relevantes y hacer aflorar sinergias entre los científicos.

Los resultados de ambos programas se espera que ayuden a plantear teorías globales de la conciencia o, todavía mejor, a confirmar empíricamente alguna de las que ya existen. Algunas de las más valoradas se centran en la relación entre conciencia e información. No por ello postulan algún tipo de analogía entre cerebro y computador; al contrario, ambas la rechazan de forma explícita. El vínculo es otro: un estado consciente implica la integración de una gran cantidad de información (por ejemplo, al reaccionar estéticamente ante un lienzo con infinitos matices) en una forma única y singular. En esta propiedad integrativa reside, según algunos, la esencia misma de la conciencia. Tanto es así que hay quien sostiene que cualquier sistema físico, ya sea orgánico o sintético, capaz de llevarla a cabo es igualmente consciente.

De acuerdo con otra teoría destacada, la del esquema de la atención, la conciencia es una construcción que emerge cuando el cerebro se aplica a sí mismo el modelo que elabora para explicar cómo los demás prestan atención a las cosas. Así, nuestro cerebro, al observar a otro individuo observando un objeto y actuando de acuerdo con lo que ha percibido sobre él, deduce que ha de tener algún tipo de noción mental del objeto en sí. Atribuir a una persona esta capacidad para representarse algo mentalmente, es decir, tener conciencia subjetiva de algo, sería una buena forma de predecir su comportamiento. Nuestro cerebro procede a concederse

esta atribución a sí mismo y, como resultado, surge la conciencia. Según esta hipótesis, la conciencia vendría a ser un relato descriptivo sobre un fenómeno real. La tinta con que se escribe el relato (la actividad neural) es real; también lo es el fenómeno físico descrito por el relato (la atención). Pero lo que no es real es el relato.

Todas las teorías de la conciencia coinciden en conceder un papel fundamental a la corteza cerebral. Esta aparece con los mamíferos. Se trata de una red finamente organizada y constituida por seis capas de células. Reposa sobre el cerebro antiguo de organización de los reflejos. Las estructuras antiguas subyacentes a la corteza prosiguieron desempeñando una función clave en la conducta de mamíferos, pero su dominio del comportamiento empezó a debilitarse a medida que la corteza cerebral se expandía y crecía su control sobre este. La gran expansión de la corteza prefrontal se asocia a una mayor flexibilidad en la conducta, a una mayor capacidad para el autocontrol y resolución de problemas y, como cabía esperar, a una capacidad consciente más desarrollada. Todo parece indicar que la conciencia juega un papel fundamental en cómo el cerebro desempeña dos de sus funciones más importantes, a saber: la respuesta adecuada al dolor o al frío, a la sed y al placer; y el aprovechamiento de las ventajas ofrecidas por la cooperación y la sociabilidad. Por tanto, podemos añadir un nuevo frente a la ciencia de la conciencia: desentrañar su curso evolutivo. En este libro, el lector encontrará información sobre este y otros retos, así como las principales líneas de investigación futura en el ámbito de la conciencia. ¿La conclusión? El camino que nos permitirá conocer a fondo la conciencia no se ha recorrido todavía por completo. Pero los decisivos pasos dados en las últimas décadas constituyen por sí mismos auténticos triunfos de la ciencia y la curiosidad humanas.

01

LOS RETOS DE UNA CIENCIA DE LA CONCIENCIA

Durante siglos se consideró que la conciencia era intratable desde la ciencia. Porque ¿cómo describir con ecuaciones qué se siente exactamente al ver un color o reconocer una nota? En las últimas décadas, sin embargo, adelantos en biología y neurociencia prometen arrojar nueva luz al mayor misterio del universo: nosotros mismos.

En 2006, un hallazgo vino a alterar radicalmente nuestras convicciones acerca de la conciencia. Un equipo de neurocientíficos británico quiso comprobar si, como se creía hasta el momento, los pacientes en estado vegetativo, que no se comunican ni tienen capacidad alguna de movimiento, carecían de actividad consciente. Para ello, los científicos pidieron a una mujer de veinticuatro años en estado vegetativo que imaginara estar jugando un partido de tenis, y después, que recorría su casa partiendo de la entrada. A continuación, midieron su actividad neural mediante una resonancia magnética funcional (RMf). Para sorpresa mayúscula de los investigadores, tras la primera petición el cerebro de la paciente mostró un nivel significativo de actividad en el área motora. Tras la segunda, la actividad se desplazó al giro parahipocampal, responsable del reconocimiento de escenas, así como a dos zonas del córtex implicadas en el movimiento y su planificación, y en el razonamiento espacial. Dicho patrón de actividad era, además, idéntico al de una persona sana a la que se le sometió al mismo ejercicio. La conclusión del equipo era que la paciente

mostraba claros indicios de ser consciente de sí misma y de su entorno (fig. 1).

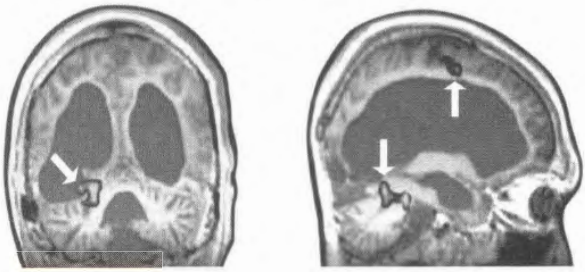
Se trata de un hallazgo que resuena mucho más allá de los estrechos confines de la academia. Incluso los afectados por el terrible síndrome de enclaustramiento pueden, en ocasiones, comunicarse mediante gestos mínimos tales como el pestañeo de un ojo. Descubrir que un enfermo en estado vegetativo, incapaz de toda expresión, es consciente de su estado, resulta abrumador. Y sin embargo, a poco que se reflexione al respecto, el experimento conlleva un mensaje optimista: la ciencia ha avanzado tanto en el estudio del cerebro que se ha llegado al punto de detectar actividad consciente donde en apariencia no existe. Y al detectarla, se la ha vuelto a conectar con el mundo. En ese atisbo de conciencia puede estar la semilla de la que, en un futuro, brote nuevamente la persona que se creía perdida.

Este estudio se pudo realizar mediante la aplicación de una tecnología revolucionaria, la RMf, capaz de registrar la actividad neuronal gracias a los sutiles cambios que provoca en el campo magnético del cerebro. Cuando estos datos se traducen a imágenes el resultado es bien conocido: cerebros que destellean en distintos puntos según estemos pensando, comiendo o experimentando un placer intenso. Junto a los paisajes cósmicos del telescopio Hubble, los retratos de la actividad cerebral obtenidos mediante la RMf son tal vez las imágenes científicas más icónicas de las últimas décadas.

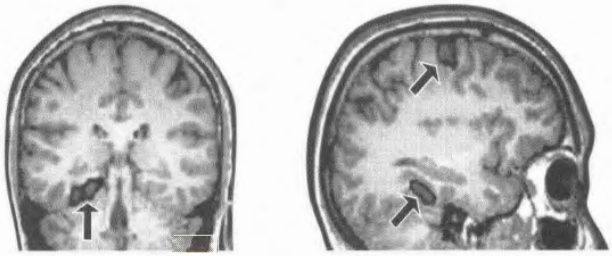
Ahora bien, la actividad neuronal pertenece al dominio de la física, del espacio y del tiempo, de la energía y de la masa. Sentimientos y pensamientos, por su parte, se inscriben en el ámbito de la experiencia subjetiva. Pese a su disparidad, esos dos territorios guardan una relación intrínseca, como se hace evidente cuando concurren lesiones cerebrales como las de nuestro ejemplo. Procedemos con seguridad cuando de un trastorno mental, psicológico, descubrimos la causa en un funcionamiento fallido de una estructura cerebral. Esta circunstancia parece apoyar la

Fig. 1

Paciente en aparente estado vegetativo



Sujeto sano



Se puede observar que en el sujeto enfermo, con lesiones cerebrales masivas evidentes, la imagen RMf refleja cierta actividad cerebral, aunque sea incapaz de hablar o de moverse, ante preguntas que implicarían respuesta motora o espacial.

tesis de que mente y cerebro no son más que dos aspectos de una misma realidad. Según esta tesis, la conciencia emergería de las propiedades y organización de las neuronas y sus circuitos. Sin embargo, la conciencia no aparece en las ecuaciones físicas, ni en la tabla periódica de química, ni en los nucleótidos de nuestros genes. ¿Cómo puede la ciencia, con su método de observación objetiva y medición, se preguntan algunos, acceder al reino de la conciencia, intrínsecamente privado y subjetivo? Este interrogante fundamental se ha presentado en diversas formas en la historia de la indagación científica sobre la conciencia. La RMf y

otras técnicas para registrar la actividad cerebral prometen ayudar a salvar esta distancia.

Clases de conciencia

La descripción de conciencia ha inspirado numerosas metáforas, desde el «teatro mental» cuyo protagonista sería el yo y en cuyo escenario se levantarían percepciones, experiencias y acciones, hasta la más conocida y persistente de todas: el «yo» que fundamenta la identidad humana individual. Hay incluso quienes sostienen que la conciencia no es más que una ilusión, un efecto secundario de la acción del cerebro. Ahora bien, si fuera un puro espejismo, sería el más poderoso y universal, pues es obvio que todos sentimos poseer una conciencia.

Una primera descripción rigurosa es la que distingue entre *conciencia fenoménica* y *conciencia de acceso*. La primera es fruto del procesamiento de los estímulos externos e incluye las experiencias mentales básicas. Son experiencias de este tipo las sensaciones somáticas como el dolor o el hambre, las emociones y estados de ánimo, las percepciones del color, de los sonidos... Aunque sus contenidos se perciban como básicos o elementales, la conciencia fenoménica es compleja, multimodal y dinámica. Por ejemplo, la cualidad de azul es siempre de un objeto o conjunto de objetos. La forma, contexto, movimiento y significado de estos objetos o escenas contribuyen al estado fenoménico global.

Las experiencias que integran la conciencia fenoménica tienen la particularidad de que son inseparables de la sensación de estar experimentándolas. Las propiedades subjetivas y privadas de las experiencias fenoménicas se conocen como los *qualia* de dichas experiencias. Así, el qualia de percibir el color rojo sería esa sensación íntima, única y transparente de *estar viendo el rojo*. Los qualia se expresan naturalmente en el lenguaje de la primera per-

sona, y resulta difícil traducirlos a un discurso objetivo, en tercera persona, que permita su medición y análisis.

La conciencia de acceso, por su parte, es el recurso a información de alto nivel, su procesamiento e integración (incluida la información evocada por la memoria), con el fin de centrar la atención, el razonamiento, la exposición, la toma de decisiones o el control del comportamiento. La conciencia fenoménica se refiere a experiencias emocionales inmediatas derivadas de los datos procedentes de los sentidos; la conciencia de acceso refleja el pensamiento sobre qué hacer con esos datos. Son estados conscientes de este tipo, por ejemplo, las creencias y los deseos. En la medida en la que cumplen una función para el sujeto, ya sea cognitiva o conductual, pueden ser descritos de forma objetiva y general. Por ejemplo, a partir de dicha función y de la particular combinación (o combinaciones) de neuronas asociada a su aparición. Por esa razón, la ciencia ha avanzado más en el estudio de la conciencia de acceso que en la fenoménica.

> La teoría [de la consciencia] no discrimina entre los cerebros que se alojan dentro de un cráneo y los circuitos de silicio encerrados en titanio.
>
> CHRISTOF KOCH

Aunque se trata de uno de los campos de investigación más activos dentro de la neurociencia, con la introducción constante de nuevas técnicas y estrategias que obligan a periódicas revisiones globales de los conocimientos, la conciencia en su conjunto constituye un reto persistente. Ello no quiere decir que no se hayan hecho avances fundamentales, todo lo contrario: como veremos en los capítulos siguientes, existen teorías globales de la conciencia altamente prometedoras. Hay quienes piensan, incluso, que en un futuro sabremos diseñar máquinas que adquieran subjetividad. Confían en que antes de un siglo se construyan computadores que puedan experimentar el color rojo, oler la fragancia de una rosa, sentir dolor o placer y enamorarse.

Los que comparten esa creencia ponen en el universo la razón última de ello. La conciencia sería una propiedad intrínseca de la materia, lo mismo que la masa y la energía. Organicemos la materia de una forma adecuada, como en el cerebro de un mamífero, y florecerá la conciencia.

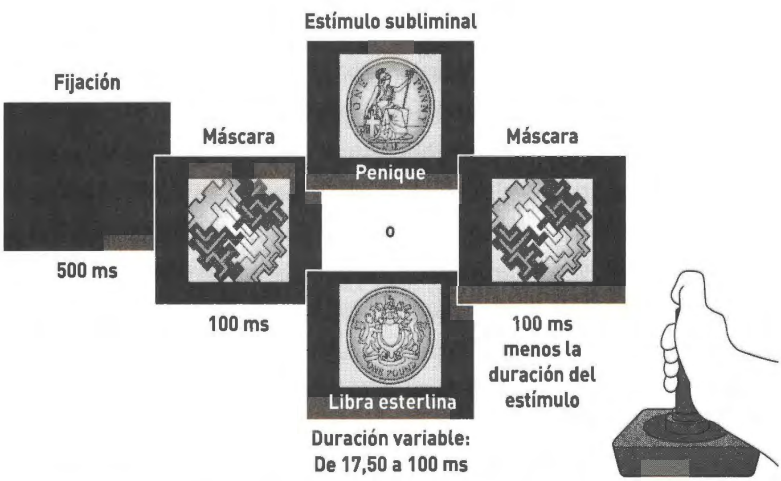
La creación de su versión artificial pondría sin duda un broche de oro al estudio científico de la conciencia. En lo que queda de capítulo, repasaremos los hitos principales de ese esfuerzo. No solo porque ello enmarca los descubrimientos actuales y facilita su comprensión, sino porque se trata de una historia fascinante en la que confluyen disciplinas tan variadas como la neurociencia, la fisiología, la computación, la filosofía e, incluso, la mecánica cuántica.

DE DESCARTES A LOS ALBORES DE LA NEUROCIENCIA

La primera exposición científica que relacionaba el cerebro con la conciencia se la debemos a Hipócrates, en el siglo V a.C. Creía que la mente, creada por el cerebro, iba muriendo paso a paso, a medida que se degeneraba el órgano. Los hombres deben saber, expuso, que del cerebro y solo del cerebro surgen nuestros placeres, alegrías, tristezas, dolores y lágrimas. Sus contemporáneos, con Aristóteles al frente, pensaban que la mente residía en el corazón. Los médicos alejandrinos del siglo III a.C., al abordar la naturaleza de los nervios, propusieron la existencia, en todos los animales, de un fluido que correría por los nervios motores y sensoriales y sería el responsable del movimiento y las sensaciones. Le llamaron pneuma, *spiritus* en latín. Tal entidad carecía de peso y era intangible e invisible. Aunque la hipótesis no era más que un recurso retórico, nunca sometido a contraste, perduró al hacerla suya Galeno en el siglo II d.C. Dividía este el cerebro en tres ventrículos; cada uno de ellos era la causa de una facultad mental diferente: imaginación,

> EL PODER DEL INCONSCIENTE

Una cosa es aceptar que algunos de nuestros deseos o creencias se fijan de manera inconsciente, y otra, mucho más difícil, admitir que para actuar sobre la base de dicha creencia o deseo nuestro cerebro también puede prescindir de la conciencia, es decir, de «nosotros». Un experimento sencillo demuestra cuán equivocados estamos. A un sujeto se le mostraron imágenes de una penique, primero, y de una libra esterlina, después, y se le pidió que presionara una pinza tanto más fuerte cuanto más deseara el objeto que se le mostraba. Como era de esperar, apretó con más fuerza la pinza al mostrársele la libra, de mayor valor monetario. En una segunda ronda, se incluyó al principio y al final de la secuencia una máscara visual que impedía que el cerebro registrara de forma consciente la imagen del penique o de la libra. Para sorpresa de los investigadores, a pesar de haber solo percepción inconsciente el sujeto respondió de forma parecida, es más, apretando más fuerte cuando la imagen subliminal era la de una libra.



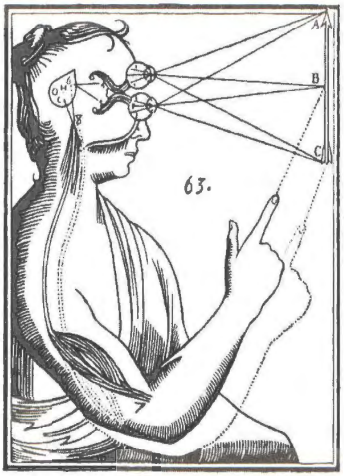
— Representación gráfica del experimento que mostró que el cerebro también puede actuar sin que seamos conscientes de ello.

razón y memoria. El cerebro controlaba las actividades del cuerpo mediante el bombeo del pneuma.

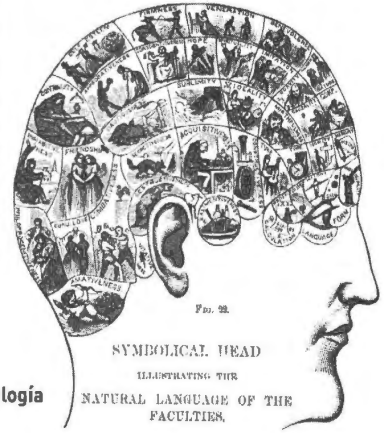
René Descartes, ya en el siglo XVII, propuso una explicación de la conciencia a medio camino entre la física y la filosofía que ha ejercido una gran influencia posterior. Declaró que cuerpo y mente estaban hechos de distinta sustancia. Y debe ser así, razonaba, porque el cuerpo, *res extensa*, existe en el tiempo y en el espacio, mientras que la mente no tiene dimensión espacial. La mente constaba de una sustancia etérea, un fluido que se almacenaba en un receptáculo del cerebro. A ese fluido lo llamó *res cogitans* y puso el receptáculo en la glándula pineal (fig. 2A). En efecto, cuando diseccionó un cerebro en busca de la sede del alma, advirtió que la mayoría de las estructuras de un hemisferio cerebral se repetían en el otro. Pero el alma era una entidad única e indivisible, por consiguiente no podía instalarse en dos lugares. Por fin encontró una ubicación singular, en el centro del cerebro, la glándula pineal, y dedujo que tenía que residir allí. Hoy sabemos que la glándula pineal se limita a producir unas sustancias relacionadas con el ritmo circadiano, es decir, con la alternancia del día y la noche, pero la noción de que la conciencia puede tener una sede concreta sigue muy viva. El candidato mejor situado es el claustro cerebral, una fina lámina de células situada debajo del neocórtex.

El fisiólogo italiano Giovanni Borelli, contemporáneo de Descartes, rechazó la idea de que corriera ninguna sustancia «etérea» por el cuerpo, y sugería que lo que se transmitía era una conmoción. Para el profesor de Pisa, los nervios eran canales rellenos de un material esponjoso. El descubrimiento de la naturaleza de la conmoción propuesta por Borelli debería esperar al descubrimiento de la electricidad animal hecha por su compatriota Luigi Galvani más de un siglo después. La fisiología concreta del cerebro recibió un primer impulso con los trabajos del inglés Thomas Willis, quien en el mismo siglo que Descartes y Borelli acometió las primeras disecciones del órgano en el Bearn Hall de Oxford. De ser una suerte

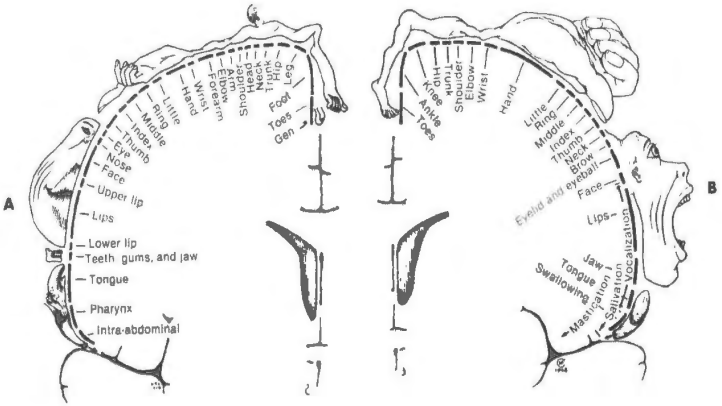
Fig. 2



A. Dualismo cartesiano y glándula pineal



B. Frenología



C. Homúnculo de Penfield

Tres intentos de mostrar gráficamente cómo funciona la mente y dónde reside la conciencia: la glándula pineal cartesiana, un diagrama simbólico de la frenología y las funciones del córtex de Penfield.

de refrigerador del calor de la sangre, tesis común hasta entonces, Willis, al igual que Descartes y los griegos, convirtió al cerebro en sede de las emociones, la percepción y la memoria. Descubridor del círculo que lleva su nombre, un anillo de vasos sanguíneos en la base del cerebro, sus descripciones anatómicas se encuentran en la raíz de la neurología moderna. Sobre las ideas de Willis prevalecieron, sin embargo, las de su compatriota el filósofo John Locke, quien sentenció que era imposible conocer el funcionamiento interior de la mente. No sería la última vez que la filosofía iba a poner en duda que la conciencia pudiera estudiarse como un objeto más del mundo físico.

No obstante este supuesto velo de oscuridad que cubriría los mecanismos de la mente, a principios del siglo XIX cobró fuerza la idea de que la corteza o córtex cerebral estaba implicada en las facultades mentales superiores y, aún más, que constaba de áreas funcionalmente distintas y asociadas. Los padres de esa corriente, denominada *frenología* (fig. 2B), fueron los germanos Franz Joseph Gall y Johan Cristoph Spurzheim. La frenología sostenía que la configuración de la corteza, y por tanto el carácter de los individuos, se reflejaba en la forma del cráneo y que, por tanto, era posible determinar la personalidad mediante la observación atenta de la cabeza. Aunque esta tesis ha quedado con el tiempo totalmente desacreditada, la frenología tuvo el mérito de impulsar el estudio experimental del cerebro de animales, mediante lesiones cerebrales dirigidas y la estimulación fisiológica del órgano. De ahí se pasó al estudio de la localización de áreas corticales del lenguaje, con trabajos clásicos del francés Paul Broca sobre afasia motora (dificultad a la hora de articular los movimientos propios del habla) y del alemán Carl Wernicke sobre afasia sensorial o receptiva (dificultad a la hora de entender el lenguaje hablado o escrito), todos ellos realizados a pacientes con graves traumas cerebrales, y los del canadiense Wilder Graves Penfield, que en una serie de famosos dibujos relacionó cada parte del cuerpo con el área correspondiente del córtex (fig. 2C).

Y entramos así en el mundo de la neurociencia con los trabajos pioneros del italiano Camillo Golgi y del español Santiago Ramón y Cajal, cuya teoría de la neurona alumbró la disciplina desde principios del siglo XX. Estos impresionantes avances en el estudio científico del cerebro no vinieron acompañados de adelantos análogos en el ámbito de la conciencia, de la que poco o nada hablaron Broca, Wernicke o Ramón y Cajal.

EL PARADIGMA DEL CEREBRO COMO COMPUTADOR

El discurso científico siguió ajeno a la conciencia durante décadas, hasta la irrupción, a mediados del siglo pasado, de un nuevo campo de investigación: la inteligencia artificial.

Su objetivo era el de crear máquinas que usaran el lenguaje, idearan conceptos y abstracciones, resolvieran problemas reservados hasta entonces a la mente humana y mejoraran esas habilidades en ellas. Los pioneros de la inteligencia artificial pronto se vieron ante un problema similar al que aqueja al de la conciencia. ¿Cómo definir de forma objetiva una capacidad, la inteligencia en su caso, que tiene lugar en el interior opaco de la mente humana?

El matemático británico Alan Turing dio una primera e influyente respuesta a esta cuestión en la forma de un test de inteligencia «para máquinas». Una máquina podía considerarse inteligente, según Turing, si podía hacerse pasar por humano tras mantener una larga conversación con una persona. El test de Turing, como se le conoce, más allá de si alcanza o no su objetivo de capturar lo esencial de la inteligencia, no determina si la máquina a la que somete a prueba siente o experimenta algo. Si le preguntamos a la máquina «¿es usted consciente?», podría respondernos: «claro que lo soy, ¿por qué piensa usted otra cosa?, me está ofendiendo». Pero no lo sabemos realmente. Los computadores inteligentes del británico carecen de conciencia, por más

que esta presuponga aquella. El test de Turing pone de relieve que inteligencia no es lo mismo que conciencia. ¿Habría alguna cuestión capciosa que pudiéramos formular, la única que solo un ser consciente pudiera contestar? Los humanos empleamos a menudo test prácticos de conciencia. Ante un traumatismo o un accidente severo, los médicos nos preguntarán si podemos mover los ojos, las piernas; si podemos hablar. Para cerciorarse del grado de conciencia, acotará las preguntas: en qué año estamos, en qué país nos encontramos, cuál es su profesión. En resumen, inferimos que otro ser humano tiene conciencia como nosotros porque su cerebro es igual que el nuestro; lo confirman los escáneres y la observación anatómica.

> Un computador puede ser llamado «inteligente» si logra engañar a una persona haciéndole creer que es un humano.
>
> ALAN TURING

Ahora bien, cuanto más alejados del nuestro se encuentran otros sistemas, más difícil resulta avanzar en inferencias de ese tipo. Pensemos en una abeja. Se sabe que emplea movimientos complejos semejantes a una danza para transmitir información clave a sus compañeras y, por ende, dispone sin duda de un cierto grado de inteligencia. Más, ¿siente ella qué es ser abeja y volar en busca del néctar? No hay manera de averiguarlo. Cuando nos apartamos tanto de lo biológico, si un día queremos cerciorarnos de que el superordenador inteligente ha adquirido conciencia, deberemos desentrañar su mecanismo y descubrir cómo genera los diferentes estados físicos que sabemos asociados a aquella.

Tecnología inspirada en la biología

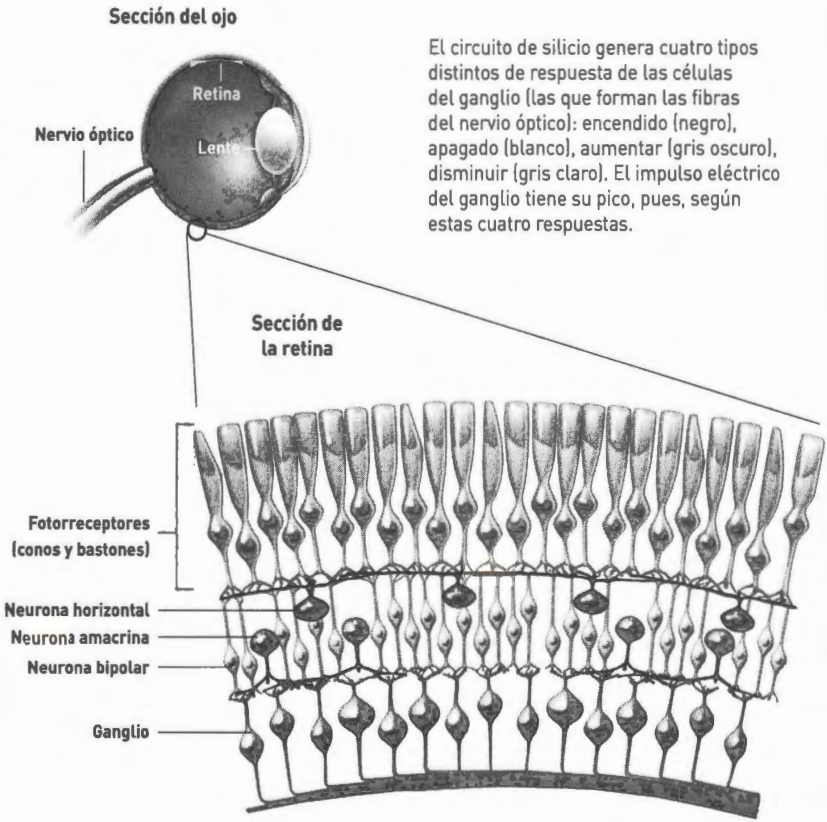
Ahora bien, si el *hardware* de un ordenador inteligente simulara las estructuras neuronales del cerebro, ¿negaríamos entonces

que pueda albergar conciencia? El estudio de la visión humana y animal permite detectar el momento en el que el procesamiento inconsciente de la información da paso al consciente, y es por ello que ha sido una de las piedras angulares de la investigación neurológica de la conciencia. No es de extrañar por tanto que uno de los primeros intentos de emular la acción neurológica mediante chips se centrara en el campo de la visión. Así, en 1987, el estadounidense Carver Mead propuso un chip de silicio diseñado para imitar el procesamiento visual de la retina. Ahondando en esa línea, en 1996, se instalaron dos chips retinianos de silicio en un ingenio volador que sobrevolaba la Antártida y su información ayudó al Observatorio Flare Genesis a mantener la cámara apuntando hacia el sol. En 2000, se presentó un circuito de 16 «neuronas» de silicio capacitadas para seleccionar y amplificar señales de entrada siguiendo el patrón impuesto por sus análogas biológicas del córtex cerebral de los mamíferos. Ocho años después, la agencia estadounidense DARPA (siglas de Defense Advanced Research Projects Agency, o Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa), impulsora de revoluciones tecnológicas como internet o los drones, dio luz verde al programa Synapse, cuyo objetivo es el de desarrollar computadores diseñados según los principios de la acción cerebral.

Una generación tal de chips «neuromórficos», cuya operación se asimilara a la cerebral, podría ocupar el vacío que hay entre la computación artificial y la computación natural. Se trata de un objetivo en primera instancia plausible porque la similitud entre computadores y cerebro no es tan superficial como pudiera parecer: en su nivel más fundamental, ambos procesan los datos de una manera binaria. Mientras que los ordenadores utilizan ceros y unos para almacenar y manipular la información, las neuronas de nuestro cerebro transmiten información también en un sistema binario, en su caso en la forma «señal sí» y «señal no». De hecho, ya se han desarrollado chips neuromórficos cuyos prototipos han dado señales

> NEURONAS DE LA RETINA Y CHIPS NEUROMÓRFICOS

Uno de los primeros ensayos con el fin de emular el funcionamiento de nuestras neuronas se ha realizado con chips neuromórficos que imitan el sentido de la vista, concretamente, la retina y las células responsables de transmitir al cerebro los estímulos visuales. El investigador Kwabena Boahen y su equipo de la Universidad de Pensilvania han desarrollado

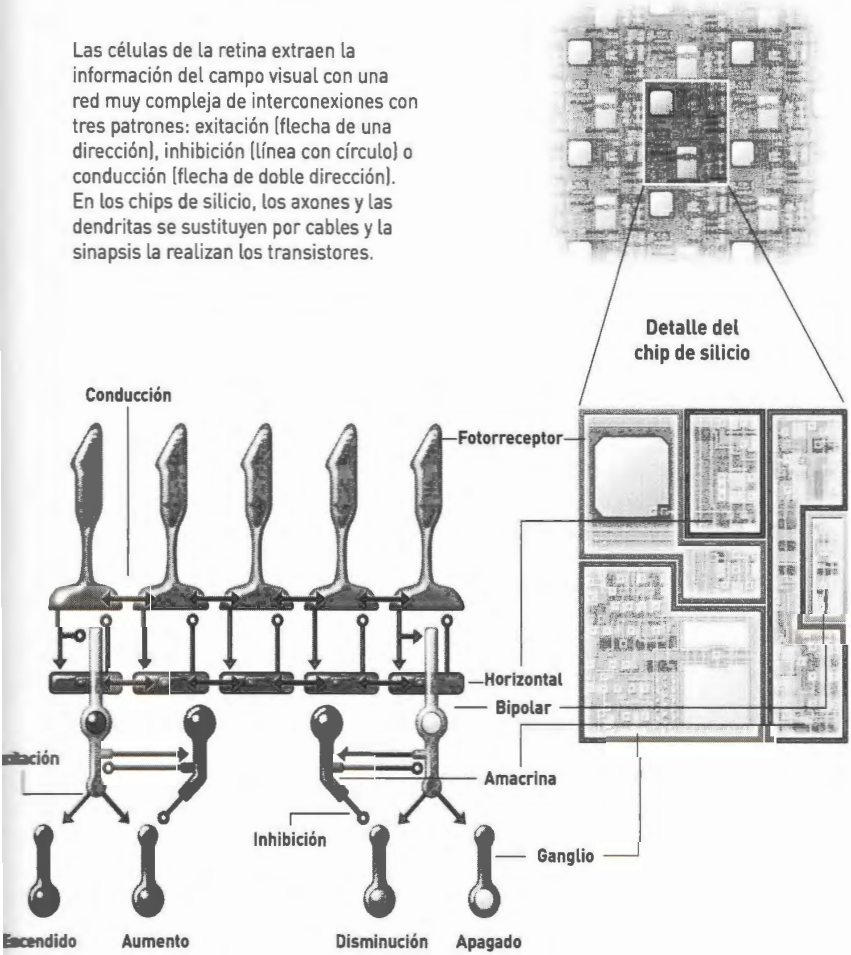


El circuito de silicio genera cuatro tipos distintos de respuesta de las células del ganglio (las que forman las fibras del nervio óptico): encendido (negro), apagado (blanco), aumentar (gris oscuro), disminuir (gris claro). El impulso eléctrico del ganglio tiene su pico, pues, según estas cuatro respuestas.

Las respuestas finales se organizan igual: encendido, apagado, aumento y disminución de la intensidad. En el equivalente en silicio hay fototransistores (rectángulo gris claro arriba derecha) que convierten la luz en electricidad.

un chip de silicio que imita la manera de procesar la información de los conos y bastones de la retina humana. El reto no ha sido solo imitar el procedimiento, sino también las dimensiones (0,5 mm de ancho, 0,5 g) y el consumo energético, mucho más bajo en la retina biológica (0,1 vatios) que en los chips de silicio.

Las células de la retina extraen la información del campo visual con una red muy compleja de interconexiones con tres patrones: exitación (flecha de una dirección), inhibición (línea con círculo) o conducción (flecha de doble dirección). En los chips de silicio, los axones y las dendritas se sustituyen por cables y la sinapsis la realizan los transistores.



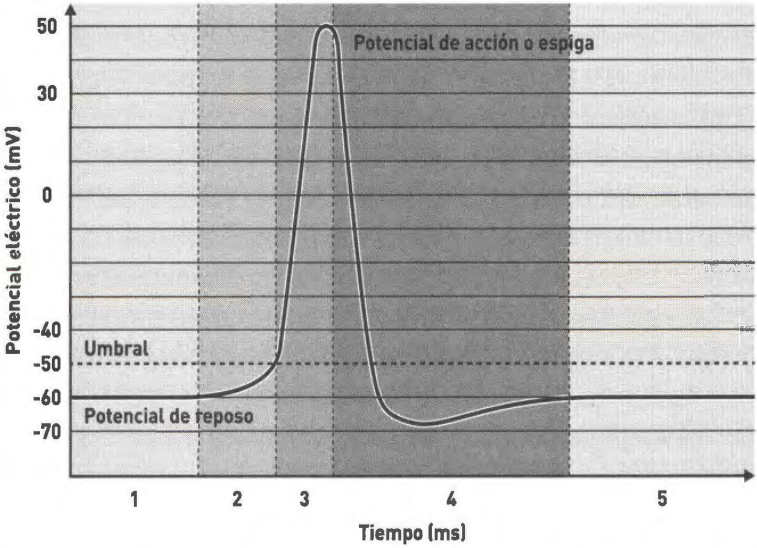
de plasticidad a la hora de adquirir nuevas habilidades, a la manera del aprendizaje biológico.

Otra línea de investigación en la computación basada en el funcionamiento cerebral son las llamadas *redes neuronales*. La estrategia en este caso es distinta, dado que lo que se intenta es imitar al cerebro humano no mediante el *hardware* sino mediante el *software*. Una red neuronal está constituida por un número variable de neuronas artificiales (hasta varios millones), que reciben una señal de entrada y, en función de su programación, la transmiten a las otras neuronas con las que están conectadas. La transmisión de la señal se da si la entrada supera un valor numérico determinado, de un modo muy similar a cómo la neurona biológica se activa (en la jerga, «cambia su potencial de acción») al superar un umbral de potencial eléctrico. Las redes neuronales se han demostrado muy eficientes a la hora de emular el modo en el que los seres humanos aprendemos a, por ejemplo, reconocer formas y objetos: mediante la captación de pautas en la información, a veces caótica, que nos llega de los sentidos. Unos y otros, chips neuromórficos y redes neuronales, podrían constituir el eslabón perdido de muchos proyectos inacabados en inteligencia artificial y, de ese modo, abrir la puerta a la subjetividad de las máquinas.

Finalmente, una tercera línea de investigación, acaso la más ambiciosa, busca simular virtualmente el cerebro al completo. Así, partiendo del estudio detallado del cerebro, los científicos construyen modelos de ordenador que remedan sus complejas redes biológicas del cerebro con la esperanza de acometer experimentos que les revelen *in silico* cómo piensa. Ya se han dado unos primeros pasos en esta dirección con el cerebro primitivo de un gusano. Este tipo de cerebros artificiales completos se diría que han de resolver, de una vez por todas, la cuestión de si una máquina es capaz de pensar o sentir. Sin embargo, aún tendrían que superar importantes obstáculos para ser considerados conscientes. Podemos predecir el tiempo que hará estos días, y podemos predecirlo desde el in-

> UNA COMUNICACIÓN ELECTRIZANTE

Las neuronas se comunican mediante señales eléctricas. Supongamos tres neuronas en fila india conectadas entre sí. Para que una señal las recorra de la primera a la última, el impulso eléctrico tiene que ser capaz de «saltar» de una neurona a otra y, además, recorrer la neurona intermedia de un extremo a otro. El modo en que esto tiene lugar es una auténtica obra de ingeniería biológica. La primera neurona libera neurotransmisores que recorren el fluido entre neuronas y son captadas por las dendritas de la segunda. Esta captación provoca que la neurona intercambie iones cargados eléctricamente con el medio. Ese intercambio altera el potencial eléctrico (o voltaje) de la neurona, anteriormente en un estado de reposo. Si dicho potencial supera un determinado umbral, se produce un fuerte y súbito impulso eléctrico, llamado *potencial de acción*, que recorre el cuerpo de la neurona y provoca la liberación, en el otro extremo, de nuevos neurotransmisores.



— Representación gráfica de la relación entre potencial eléctrico (mV) y tiempo (ms) en el potencial de acción de una neurona.

terior de una tormenta. Pero nunca llueve dentro de un ordenador. Podemos simular en el interior de un ordenador un agujero negro, pero el espacio-tiempo no se curvará. Simular algo no es realizarlo. Tal es lo que sucede con la conciencia.

El paradigma del cerebro como computador presupone, además, que la conciencia es asunto exclusivamente del cerebro. Pero ello está lejos de haberse demostrado. Por ejemplo, ¿qué ocurre con las emociones? Estas resultan de la interacción entre el cerebro y el cuerpo. Cuando nos sentimos felices, el cuerpo lo manifiesta de una manera especial. Por tanto, habría que dotar a nuestro cerebro virtual con un cuerpo físico o, cuando menos, con la ilusión de uno. Hasta que los computadores no dispongan de ese *input* difícilmente podremos considerar que sean conscientes.

De la importancia del cuerpo, y por extensión del movimiento, en la construcción del yo, son ejemplo las ascidias, una clase de animales marinos que se alimentan filtrando el agua y extrayendo de ella los nutrientes. En su fase larvaria, sí presentan cerebro, que les permite explorar su entorno y descubrir el lugar idóneo para establecerse. Una vez asentadas, consumen su propio cerebro. El movimiento, por tanto, constituye el centro de la función cerebral.

Desplazarse por un entorno cambiante es un cálculo difícil, el cual, además, debe operar sin interrupción. Se trata, en fin, de un proceso de retroalimentación que atiende no solo al objetivo propuesto, sino también a la eficacia y dirección de todos los movimientos componentes de la secuencia motora. La centralización de ese complejo proceso requiere de un yo, por primitivo que pueda resultar. Esta y otras evidencias sugieren que la conciencia puede no ser fácilmente separable del sustrato biológico e imponen limitaciones a un modelo puramente computacional del cerebro y sus propiedades.

Otros importantes inconvenientes de dicho modelo son ciertas propiedades bien conocidas del sistema nervioso, entre ellas, su capacidad para procesar grandes cantidades de información en para-

lelo. Por ejemplo, las operaciones filtradoras de las células retinianas o corticales en el proceso visual se realizan simultáneamente en una imagen entera y, por consiguiente, no están limitadas por la tiranía de un procesador único.

LA NEUROCIENCIA TOMA EL RELEVO

Al desligarla del raciocinio, los pioneros de la inteligencia artificial evitaron abordar de frente la cuestión de la conciencia. La subjetividad siguió siendo campo de juego principalmente de la reflexión filosófica. Así, en 1974 veía la luz un artículo del pensador estadounidense Thomas Nagel, de título «¿Cómo es ser un murciélago?», que se considera la expresión moderna por antonomasia de la dificultad inherente en reducir la experiencia consciente a las categorías tradicionales de la ciencia. Aunque pudiera ser que no todos los seres vivos tuvieran experiencias fenoménicas, sostiene Nagel, podemos esperar que los murciélagos sí la tengan, después de todo son mamíferos que desarrollan un repertorio de conductas complejo. Pero la fisiología de los murciélagos difiere de la fisiología de los seres humanos. Lo que nosotros hacemos con la visión, ellos lo hacen con un sistema semejante al radar. Puesto que esa forma de percibir el mundo es distinta, sus experiencias perceptivas deberían ser diferentes, tan diferentes que, para Nagel, resultan inimaginables desde nuestra perspectiva. Nosotros, que no somos murciélagos, no podemos conocer qué sea ser un murciélago. Para Nagel, todo fenómeno subjetivo se halla relacionado con un solo punto de vista, y parece inevitable que una teoría física, objetiva, deba abandonar ese punto de vista. Las ideas de Nagel han gozado de notable influencia más allá incluso del ámbito filosófico. No obstante, se revelaron insuficientes para impedir que, desde principios de los años ochenta, el discurso neurocientífico sobre la conciencia, y por ende el científico, fuera desplazando al

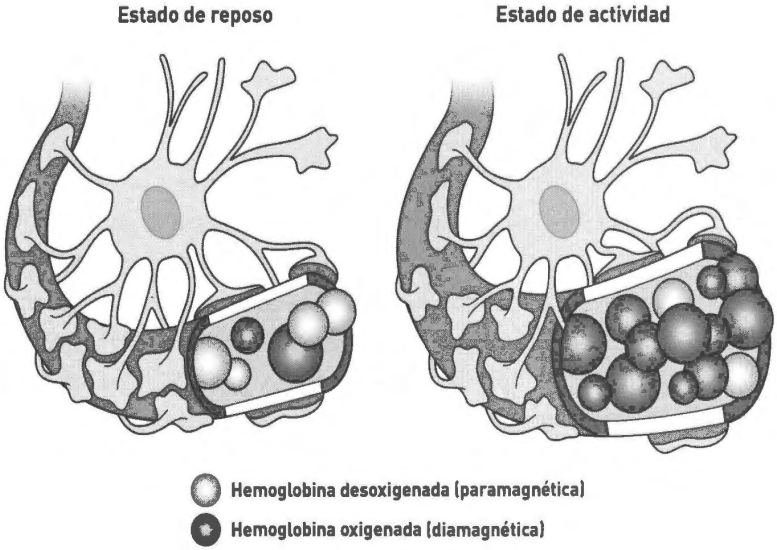
filosófico. Un desplazamiento que vino propiciado por el desarrollo previo de la ciencia cognitiva y de importantes adelantos experimentales.

Así, la revolución cognitiva de las décadas 1960 y 1970 volvió a situar a la conciencia en el centro del estudio psicológico de la mente. De la hibridación de esta nueva psicología científica con la computación nacería la ciencia cognitiva, que proveería a los investigadores de modelos con los que confirmar hipótesis neurológicas sobre la conciencia. En paralelo al progreso teórico, la experimentación neurológica hizo también importantes adelantos que hicieron que los fisiólogos se atrevieran a hablar de conciencia sin el pudor de antaño.

El cerebro presenta dificultades adicionales a las comunes a otros órganos en el terreno de la experimentación, pues no se parece a nada que nos sea familiar: una bomba (como el corazón) o un filtro (los riñones). Es por ello que el estudio de la relación entre cerebro y mente experimentó un impulso espectacular cuando el estadounidense Roger Sperry, del Instituto de Tecnología de California, abordó el estudio de pacientes cuyos hemisferios habían quedado quirúrgicamente separados como último recurso para controlar unos brotes epilépticos discapacitantes. Se los denominó *pacientes con el cerebro dividido*. Sperry demostró que, cuando el cirujano cortaba el haz nervioso que conecta ambos hemisferios, estos se comportaban, en lo cognitivo, de una forma bastante independiente. Las estructuras inferiores (tálamo y tallo cerebral) no se separan; de ahí la precisión de «bastante independiente». En los sujetos con el cerebro dividido, cada hemisferio experimenta por separado los estímulos que le son dirigidos a él; si depositamos una llave en la mano izquierda del paciente y un anillo en la mano derecha, colocamos al sujeto ante dos cuadros (uno exhibe la llave y el otro el anillo) y le indicamos que señale lo que siente, su mano izquierda apuntará a la imagen de la llave y su mano derecha a la imagen del anillo. Un sujeto con el cerebro dividido puede incluso realizar movimientos

> UNA VENTANA ABIERTA A LA ACTIVIDAD CEREBRAL

La resonancia magnética funcional (RMf) es una técnica para la medición de la actividad neuronal que ha revolucionado el estudio del cerebro. Cuando las neuronas se activan, una de las consecuencias es que demandan energía en forma de oxígeno. Para proporcionársela, el cuerpo aumenta el riego sanguíneo rico en hemoglobina oxigenada. Cuando el oxígeno se traslada a los tejidos aumenta la cantidad de hemoglobina desoxigenada, una molécula de propiedades paramagnéticas (es decir, que actúa como un imán). El aparato resonador capta estos efectos magnéticos y el *software* los traduce a imágenes. La RMf es una prueba que posee muchas ventajas y no es nada invasiva, pues no requiere inyectar contraste alguno, conectar electrodos o exponer al cuerpo a radiación.



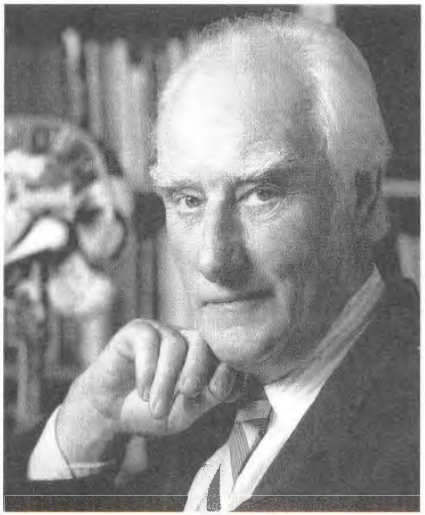
— La diferencia de magnetismo entre la hemoglobina desoxigenada (representada en gris) y la oxigenada (representada en negro) es la que permite realizar la RMf.

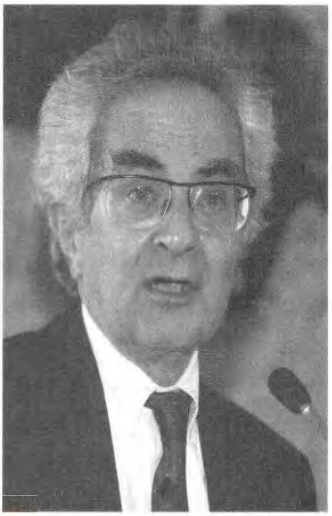
opuestos con las dos manos: la izquierda descuelga el teléfono, la derecha, lo cuelga. ¿Suponía esa división cerebral la división de la mente?

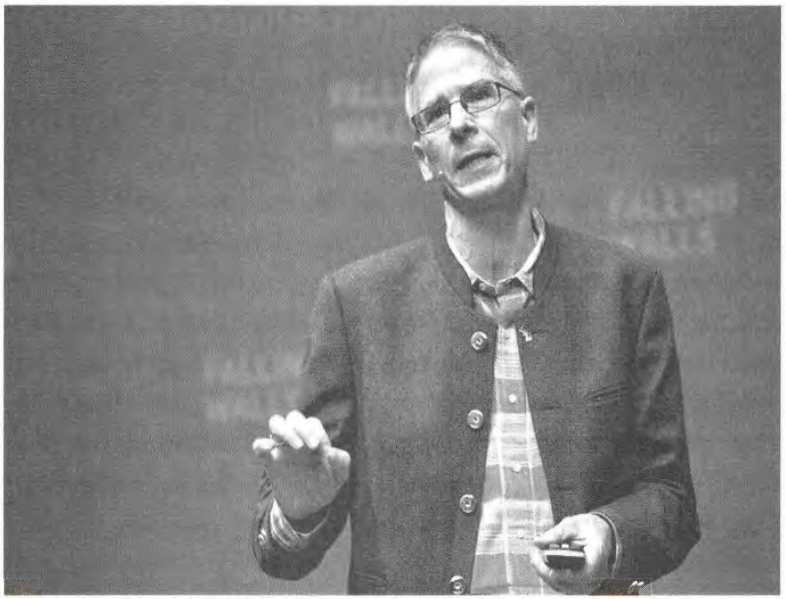
En una serie de desarrollos de principios de la década de 1990, varios equipos de investigadores pusieron a punto una técnica capaz de registrar la entrada y el procesamiento de información de las neuronas, la ya mencionada RMf. Esta y otras técnicas similares de medición de la actividad cerebral, como la electroencefalografía o la tomografía por emisión de positrones (PET), permitieron a los científicos relacionar una determinada situación exterior, captada por el aparato sensorial del cuerpo, con los patrones de actividad simultáneos. Ya era posible la experimentación de la conciencia, como en el ejemplo visto en el arranque del capítulo. No es exagerado decir que la irrupción de estas tecnologías ha representado para la neurociencia lo que la invención del telescopio para nuestra visión del cosmos.

La búsqueda de la sede de la conciencia

Muy pronto, los neurocientíficos procedieron a diseccionar la conciencia mediante el estudio de situaciones que la afectasen de una forma clara y controlable. Fue el caso del biólogo británico Francis Crick, célebre por su condición de codescubridor de la estructura del ADN, y su colega estadounidense Christof Koch, en la última década del siglo XX. La forma de conciencia que propusieron estudiar empíricamente era la mejor definida: la de acceso. En concreto, Crick y Koch propusieron en un par de artículos científicos publicados en 1990 que la investigación empírica de la conciencia se centrase, al menos inicialmente, en los estímulos visuales, ya que por una parte se conoce bien lo que sucede en un cerebro cuando recibe estímulos visuales del mundo exterior, y por otra hay determinadas situaciones, bien conocidas también, que permiten dis-







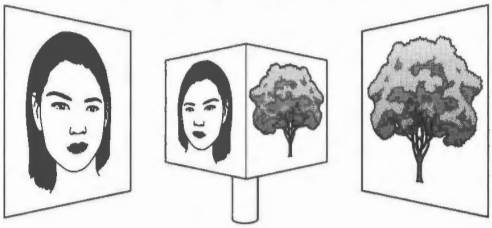
— Tres investigadores claves en el estudio reciente de la conciencia, Francis Crick (arriba izquierda) y Christof Koch (abajo), que trabajaron conjuntamente en el análisis de los correlatos neuronales, y Thomas Nagel (arriba derecha), que planteó con el artículo «¿Cómo es ser un murciélago?» el aspecto subjetivo de ser organismos conscientes.

tinguir y modificar de forma controlada el estado de conciencia, ante esos estímulos visuales, de los sujetos con los que se realizase el experimento. Más exactamente, se referían al fenómeno de la rivalidad binocular, estudiado ya por el británico Charles Wheatstone a principios del siglo XIX.

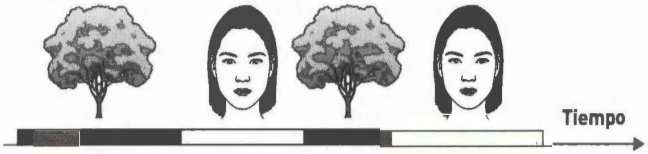
Wheatstone ideó un aparato llamado *estereoscopio*, con el que podía mostrar imágenes distintas a cada ojo de los individuos con los que hiciese el experimento, de forma que cada ojo no viese más que la imagen que le correspondiese. ¿Qué se percibe entonces? ¿Una mezcla de ambas imágenes? ¿Solo una de la dos? El resultado fue, y sigue siendo, sorprendente: el sujeto va viendo alternadamente una imagen o la otra. Estaba claro que los estímulos visuales procedentes de cada imagen entraban en el cerebro. ¿Qué ocurría en este para que solo llegue a la conciencia una de ellas y luego la otra y vayan así alternándose? En 1996, se instruyó a unos macacos para que mirasen por un estereoscopio y se les enseñó a revelar, mediante el movimiento de una palanca, qué imagen de las dos que el aparato les ofrecía veían en cada momento, mientras, se observaba la actividad de sus cerebros. Se descubrió así que los macacos experimentaban lo mismo que los seres humanos: la alternancia de las dos imágenes. Y observaron entonces que los estímulos visuales correspondientes a ambas imágenes llegaban por igual a las áreas donde se efectúa el procesamiento más primario de las imágenes, en la parte occipital de la cabeza; en cambio, según qué neuronas se disparasen en áreas de procesamiento posterior de la imagen se podía predecir correctamente qué palanca habían movido los macacos (fig. 3). Se había conseguido aislar por primera vez una actividad neuronal directamente relacionada con la actividad consciente, es decir, se había hallado el correlato neuronal de un estado consciente. Desde entonces se han realizado numerosos experimentos encaminados a encontrar otros correlatos neuronales, e incluso se han adelantado algunas regiones cerebrales como sedes posibles de la conciencia. Examinaremos más en detalle estas teorías en el capítulo tercero.

Fig. 3

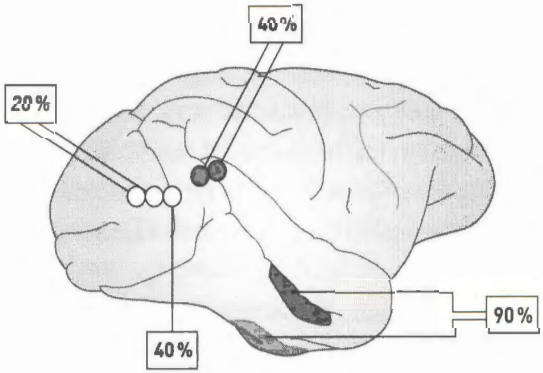
Estereoscopio de Wheatstone



Contenido de la conciencia



Áreas neuronales y porcentaje de activación



Si se muestra una imagen distinta a cada ojo (un árbol y una cara), percibiremos bien la una bien la otra, sin mezcla. A unos monos se les entrenó para que indicaran qué imagen veían en cada momento. La actividad neuronal de partes de las áreas visuales de mayor jerarquía se correspondía en un 90 % con las indicaciones conscientes de los monos, mientras que la correspondiente a áreas más primarias lo hacía en menor porcentaje. Esas partes constituyen, pues, un correlato neuronal de ese estado consciente particular.

LA CONCIENCIA, ¿UN FENÓMENO CUÁNTICO?

Otra línea de investigación sobre la naturaleza de la conciencia, contemporánea a la neurológica de Crick y Koch, es la que abogó por una explicación cuántica. Desarrollada por el eminente físico británico Roger Penrose, parte de la premisa evidente de que todos los organismos biológicos tienen que obedecer las leyes de la física, sea clásica o cuántica. A primera vista, no parece que los mecanismos biológicos dependan críticamente de fenómenos a escala atómica, donde reina la física cuántica. La conciencia, sin embargo, sería una excepción. Hay realidades mentales evidentes, como el libre albedrío, que requieren de la conciencia y que se oponen, por su misma naturaleza, a ser reducidas a un conjunto predeterminado de reglas, es decir, a un programa. Ahora bien, los procesos basados en la física clásica, como los biológicos, son en principio computables. Ello dejaba los de tipo cuántico como el único origen posible de la no computabilidad de la conciencia. Las operaciones cuánticas tendrían lugar en ciertas estructuras del interior de las neuronas, en particular, en la tubulina presente en unos polímeros proteicos filamentosos llamados *microtúbulos*.

> La conciencia... es el fenómeno por el cual la misma existencia del universo se hace conocida.
>
> ROGER PENROSE

La visión cuántica de la conciencia se ha tenido que enfrentar a fuertes críticas. En primer lugar, se ha calculado que los fenómenos cuánticos que pudieran darse en los microtúbulos tendrían en cualquier caso una duración demasiado corta como para ejercer ningún tipo de efecto a escala macroscópica. Además, aunque el cerebro ha de obedecer a la mecánica cuántica, como cualquier otro objeto del universo, no parece que ninguna de sus funciones dependa críticamente de comportamientos cuánticos. Así, elementos tales como los fotorreceptores, los receptores pre y postsinápticos y las

proteínas de membrana que subyacen bajo la excitabilidad neuronal son de un tamaño tal que deben tratarse como objetos sujetos a la física clásica.

LOS LÍMITES DE LA CIENCIA DE LA CONCIENCIA

Cierta mañana de la primavera de 1994, en Tucson, Arizona, un joven filósofo australiano, David Chalmers, participaba en un congreso consagrado a la neurociencia de la conciencia. Las dos disertaciones que precedieron a la de Chalmers resultaron ininteligibles y aburridas; en palabras de Stuart A. Hameroff, responsable del evento, «no tenían ni idea de lo que estaban hablando. Miré a mi alrededor: la gente estaba durmiendo o mostrándose inquieta. Y en eso llegó la tercera conferencia, la de Chalmers, de veintisiete años, con melena y pinta de alguien que se hubiera perdido en la carretera, camino de un concierto de Metallica». El cerebro, comenzó Chalmers, plantea toda suerte de problemas para la ciencia. ¿Cómo aprendemos, almacenamos recuerdos y percibimos las cosas? ¿Cómo sabemos retirar las manos del agua caliente y oímos nuestro nombre en medio de una habitación ruidosa? A la postre, estos eran problemas fáciles: con dinero y tiempo suficiente, los científicos podrían resolverlos. Solo había un problema en verdad difícil, dijo Chalmers, y era el relativo a la conciencia. ¿Por qué los animales con cerebros complejos están dotados de conciencia? ¿Por qué no se limitan a ser simples robots, capaces de almacenar información, responder a los ruidos y a los aromas, pero carentes de vida interior? Un simple diodo detecta la luz sin mediar conciencia alguna de estar haciéndolo, mientras que en el ser humano esa distinción la implica necesariamente. ¿De qué forma un tejido gris rosáceo, húmedo y de 1400 gramos, encerrado en el cráneo, origina algo tan misterioso como la experiencia de ser alguien, y habitar un cuerpo?

Chalmers dividió la cuestión de la conciencia en dos problemas de dificultad contrapuesta, uno asequible o «blando» (*soft*, en el inglés original) y otro difícil o «duro» (*hard*). El primero consistía en explicar de qué modo el cerebro computa y almacena información, el segundo, de qué modo la conciencia surge de fenómenos desarrollados en el cerebro. El problema duro no es otro que desentrañar la naturaleza de la conciencia, que no parece que pueda identificarse con algo físico porque es, por definición, privada, y, en cuanto tal, inabordable desde el punto de vista científico. Chalmers escribiría: «El problema realmente duro de la conciencia es el problema de la *experiencia*. Cuando pensamos y percibimos hay procesamiento de la información, pero hay también un aspecto subjetivo». A continuación, citó el texto seminal de Nagel que hemos examinado con anterioridad: «Como señalara [Nagel] en 1974, existe algo que es el *ser algo así como* organismo consciente».

> Creo que la conciencia siempre ha sido el tema más importante en filosofía de la mente [...], pero en los últimos años se había descuidado sorprendentemente.
>
> DAVID CHALMERS

Es importante darse cuenta que no se pone en duda que la conciencia venga condicionada por hechos físicos subyacentes. Simplemente, se duda de que una descripción basada en hechos físicos y, en consecuencia, objetivos e universales, capture todos los aspectos de la conciencia. En estas circunstancias, la ciencia no puede aplicar su método.

Otra forma de ver en qué consiste el problema es mediante un experimento mental, es decir, un caso hipotético, sin conexión necesaria con la realidad. Imaginemos a una científica del futuro, experta en física del color, que ha vivido siempre en una habitación en blanco y negro. Aunque esta científica, llamémosla Mary, posee una visión normal para los colores, su confinamiento le ha impedido experimentar ninguna sensación de color. En su habitación

en blanco y negro, Mary ha estudiado la ciencia del color a través de manuales, televisión y otros medios en blanco y negro. En tales condiciones, ha aprendido la teoría del color, la física del color y la biología del sistema visual del cerebro. Pero no ha visto un color en su vida. Supongamos que Mary sale un día liberada de su habitación y se le ofrece un tomate maduro. ¿Qué imaginamos sucederá? La mayoría de las personas intuyen que Mary aprenderá algo de esa experiencia visual y exclamará algo del estilo de «!Ajá! ¡Ahora sé qué es el color rojo!». Ahora bien, mientras estaba en la habitación Mary conocía todos los datos físicos sobre el color, incluido el rojo. Cuando sale de la habitación conoce algo sobre el color rojo que antes desconocía: en qué consiste ver lo rojo. Por consiguiente, hay al menos un aspecto del color que no se incluye es la lista de datos físicos sobre el color, puesto que Mary los conocía todos. La experiencia subjetiva del color, su quale, no puede ser objeto de descripción alguna según los términos de la física.

LA CONCIENCIA EN EL ARRANQUE DEL SIGLO XXI

No todos están de acuerdo con esa limitación. Hay quienes discuten la existencia misma de los qualia, aduciendo que sus supuestas propiedades son incoherentes y que no son más que ilusiones de nuestro estado de introspección. Según este punto de vista, los qualia están en realidad compuestos de estados cognitivos funcionales como los que caracterizan la conciencia de acceso. Finalmente, hay investigadores que dejan los qualia abiertamente de lado, a la espera de que hallazgos futuros puedan resolver la cuestión.

En última instancia, de lo que se trata es de la posibilidad o no de naturalizar la conciencia, es decir, de explicarla solo con respecto a hechos físicos. Para la tesis naturalista, los fenómenos mentales serían cerebrales. En su versión moderada, sostiene que los episodios mentales supervienen a los acontecimientos físicos. Se

recurre a este tecnicismo, «superveniencia», para expresar cierta relación de dependencia de lo mental respecto de lo físico. Un conjunto de propiedades se dice superviniente sobre un segundo conjunto cuando ambos tipos de propiedades se hallan tan estrechamente relacionadas, que no cabe diferencia en las primeras sin que acontezca una diferencia en las segundas. Así, de las propiedades biológicas se dice que supervienen sobre las químicas, y que las mentales lo hacen sobre las fisicoquímicas. La postura naturalista confía en que la teoría física pueda explicar el proceso en cuya virtud los estados físicos desembocan en estados conscientes.

> Apenas he dicho nada con respecto a los qualia, excepto para dejarlos de lado y esperar que ocurra un milagro.
>
> FRANCIS CRICK

Los modelos actuales sobre el funcionamiento de la conciencia no se entienden sin la historia que acabamos de bosquejar. En mayor o menor medida, todos ellos consideran que la conciencia es producto de ciertos fenómenos cerebrales, una herencia del convencimiento cartesiano de la centralidad del cerebro en la vida mental, así como de la constatación de que ciertas lesiones cerebrales tienen afectaciones profundas sobre nuestra vida interior, un legado de los fisiólogos de Broca a Sperry. Los distintos intentos por estudiar la mente a la luz de la computación, por su parte, a pesar de fracasar en su intento inicial de reducir la actividad mental a un conjunto de reglas, han aportado conceptos que juegan un rol fundamental en las modernas teorías sobre la conciencia, tales como información o sistema. Finalmente, la neurociencia que inaugurara Ramón y Cajal, en tanto que se ocupa del funcionamiento del cerebro, la fuente casi indiscutida de los estados conscientes, se ha erigido en el lugar propio del estudio científico de la conciencia.

Entre los objetivos más inmediatos de la ciencia de la conciencia se encuentran acotar de forma definitiva la actividad neuronal

asociada a aquella, como primer paso para abordar la cura de los traumas que la afectan, e identificar en qué momento del desarrollo humano surge y en qué especies biológicas existe. El aspecto evolutivo del problema resulta especialmente fascinante. ¿Cuál es exactamente la ventaja evolutiva de la conciencia que explica que haya sido seleccionada a lo largo de la historia biológica de las especies que la presentan?

Y, sobre todo, despejar el interrogante central: en qué sentido funciona la relación de causa (cerebro) a efecto (conciencia), al menos en el caso de los estados conscientes funcionales. No hay obstáculo teórico alguno para que la ciencia no alcance todos estos objetivos. Y, de hecho, cuesta imaginar otros más fascinantes de entre los que se le plantean al ser humano a principios del siglo XXI.

02

LA EVOLUCIÓN DE LA CONCIENCIA

Como todo en biología, la conciencia ha de poderse explicar a partir de la evolución. El estudio del mundo animal revela que no es un atributo exclusivamente humano, aunque en ninguna otra especie se ha desarrollado tantísimo. Nuestra capacidad por empatizar unos con otros podría ser la razón.

La conciencia ha sido producto y, en cierta medida, motor de la evolución humana. Nos aporta capacidad de abstraer, pensamiento simbólico y sociabilidad. Sobre esa base, nuestro linaje ha desarrollado una capacidad mental para representarse el mundo que ha trascendido las meras ventajas adaptativas. Pero ¿cuál fue el curso de evolución de la conciencia? ¿Es exclusiva de los seres humanos? ¿Qué ventajas evolutivas presenta?

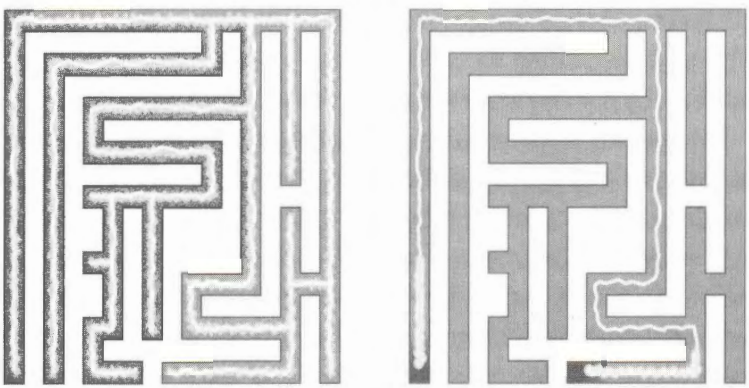
Los cuervos fabrican útiles, los chimpancés lloran a sus muertos, las ratas sufren con el dolor de sus congéneres. Cuando Charles Darwin publicó *El origen del hombre* (1871), la aplicación de su teoría de la evolución al caso humano, empleó el método de comparación con otras especies para explicar la nuestra. En su opinión, en lo tocante a la mente, la diferencia en los animales superiores era de grado, no de clase. La ciencia moderna, como veremos, le da la razón.

A la pregunta sobre qué separa al hombre del resto de los animales, suele responderse que la cultura y la conciencia. La realidad no es tan sencilla: en diverso grado, los animales poseen los sustratos neuroanatómicos, neuroquímicos y neurofisiológicos necesarios

para disponer de estados conscientes, amén de la capacidad de exhibir conductas orientadas a un fin u objetivo. Tenemos ejemplos de ello incluso en lo más ínfimo de la cadena de los seres, los unicelulares. El plasmodio *Physarum polycephalum* presenta una red dendrítica de estructuras tubulares, los seudópodos. Cambia de forma a medida que repta sobre un medio de gel de agar; si el alimento se encuentra en dos puntos diferentes, desplegará seudópodos que conectarán ambas fuentes nutricias. El organismo posee otra rara destreza: halla la solución de longitud mínima entre dos puntos de un laberinto (fig. 1).

Subiendo al nivel invertebrado, pluricelular, el cerebro de las hormigas constituye casi el 15 % de su masa corporal. Quizá por ese motivo, Darwin subrayó que se trataba de una de las porciones de materia más maravillosas del mundo, hombre incluido. Los humanos no fueron la primera especie en inventar la agricultura. Esa distinción debe reconocérsele a las hormigas, que comenzaron a cultivar hon-

Fig. 1



Esquema de la solución del laberinto realizada por el plasmodio *Physarum polycephalum*. Tras una exploración, elimina las conexiones más largas con el alimento, pero se mantiene conectado a este por el camino más corto.

gos para su alimentación hace millones de años. Los insectos sociales exhiben muestras extraordinarias de cooperación y división del trabajo, conducta que asignamos a un sentido de conciencia.

Uno de los hitos científicos más notables de la historia ha sido el descubrimiento del lenguaje de las abejas a través de la danza. Forrajeras y exploradoras van y vienen para comunicar la distancia, la dirección y la calidad de las flores o los lugares de potencial anidamiento a las otras abejas de la colmena. En un experimento, se comprobó que los insectos señalaban fuentes cercanas en una danza circular y otras lejanas con una danza de coleteo, en forma de ocho. El segmento de trazo recto de esta última contenía información sobre la dirección de la fuente y la frecuencia de sus vueltas guardaba relación con la distancia: a menor distancia, mayor rapidez de la danza. Este lenguaje es manifestación indudable de conciencia.

EVOLUCIÓN DEL CEREBRO, EVOLUCIÓN DE LA CONCIENCIA

Hablar de evolución de la conciencia es dar por cierto que no requiere lenguaje ni conocimiento del yo, que existe en los animales y en el feto, que no se trata de una entidad conclusa, sino que es un proceso. Su desarrollo va indisolublemente unido a la evolución del cerebro, que en el caso humano, en particular, es producto de numerosos episodios de selección natural a través de una compleja filogenia. Sin la reconstrucción de ese pasado, por tanto, no entenderíamos, en su plenitud, la estructura y función de la conciencia.

Un progreso clave de la evolución animal fue el desarrollo de una estructura nerviosa longitudinal y bilateralmente simétrica, la línea media. Sin ese eje corporal de simetría, el planeta seguiría ocupado por anémonas, esponjas y similares. El tránsito de una simetría radial, la propia de los organismos citados, a una simetría bilateral creó en los animales una izquierda y una derecha y

su sistema nervioso. Una de las adquisiciones más importantes en la evolución del sistema nervioso central de los vertebrados fue la aparición en la región más rostral (en la punta, por así decir) del cráneo, o telencéfalo, de láminas superficiales de neuronas que acabarían por componer la corteza o córtex. En los mamíferos, identificamos una corteza especialmente compleja, de cinco o seis capas, que por su aparición tardía en la evolución se ha llamado *neocórtex*.

> Para el biólogo, el ideal supremo consiste en resolver el enigma del propio yo.
>
> SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL

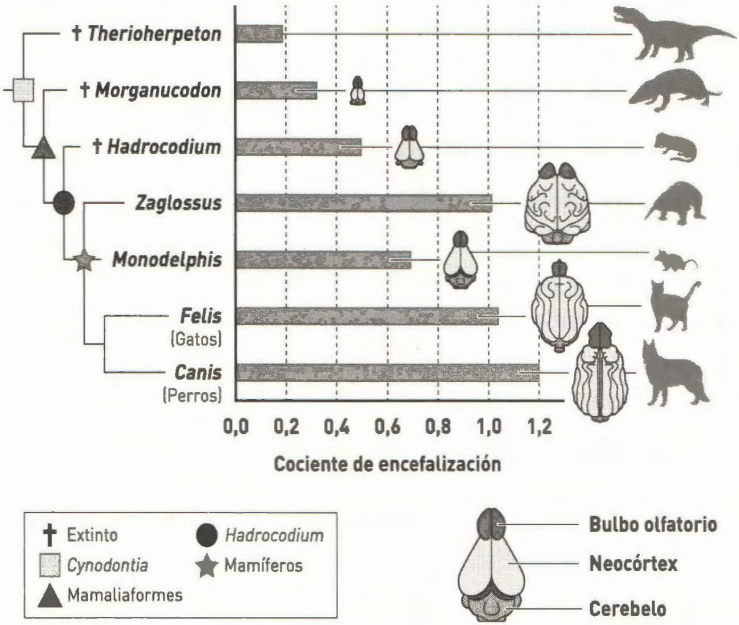
La aparición de cerebros complejos entraña, además, la instalación de las neuronas en su sitio correcto y la creación de interconexiones apropiadas a través de las cuales se transmita información de unas a otras a una velocidad suficiente. Esas interconexiones han acabado adoptando la forma siguiente: el soma celular de la neurona y sus proyecciones arborescentes, las dendritas, reciben información de otras células. Procesada la información, se transmite a lo largo del axón hasta la sinapsis; y de ahí a la siguiente neurona.

Ese proceso de forja de los primeros cerebros complejos habría tenido lugar, de acuerdo con el registro fósil, hace entre 520 y 560 millones de años, en la gran explosión del Cámbrico de diversidad animal. Solo en el linaje humano, sin embargo, encontramos una reestructuración drástica del cerebro y, por ende, de la conciencia. Habrá pues que aguardar a la refinada complejidad del cerebro humano para explicar el desarrollo de las funciones mentales que nos definen como seres conscientes y sociales.

Antes de ello, nos detendremos en algunos casos particulares dentro del reino animal cuyo desarrollo cerebral y cognitivo, y algunos comportamientos asociados, denotan la casi segura presencia de una conciencia avanzada. Solo la incapacidad de los animales para comunicar sus estados mentales de manera clara e inmedia-

> LA IMPORTANCIA DEL OLFATO

El examen de dos cráneos de fósiles de las especies que precedieron a los primeros mamíferos, procedentes de inicios del Jurásico de China, *Morganucodon oehleri* y *Hadrocodium wui*, permitieron constatar que el tamaño relativo del cerebro se expandía desde los más pequeños del género extinto *Therioherpeton* hasta niveles propios de los mamíferos, con bulbos olfatorios agrandados, neocórtex, córtex olfatorio y cerebelo. En el caso del género *Morganucodon*, la diferencia de tamaño se debía en buena parte al desarrollo de áreas del cerebro implicadas en el procesamiento del olor y del tacto, así como en la coordinación del movimiento. *Hadrocodium* adquirió también un cerebro desarrollado, sobre todo en regiones ligadas a la olfacción. Un sentido mejorado del olfato podría haber sentado la base neural para una mayor capacidad de habérselas con distintos tipos de información ambiental.



— Tabla que muestra la evolución del cociente de encefalización desde los extintos géneros como *Therioherpeton* y *Morganucodon* hasta mamíferos actuales.

ta impide ser más categóricos. Se trata de un ejercicio comparativo fascinante que el propio Darwin habría aprobado, y para el que contamos con un conocimiento de la historia evolutiva que habría asombrado al gran naturalista inglés.

AVES Y MAMÍFEROS

Hace unos 400 millones de años un pez pequeño y osado saltó a tierra firme y decidió quedarse en vez de volver al agua. Sus descendientes evolucionaron en *Tiktaalik roseae*, cuyos restos fósiles se descubrieron en el Ártico canadiense en 2004. La especie representa la transición entre organismos acuáticos y organismos terrestres. Asentados en tierra firme, su horizonte visual se amplió enormemente. La longitud de atenuación —distancia a la que la luz es absorbida por el medio por donde miramos— es de decenas de metros en aguas cristalinas, mientras que en el aire es casi infinita. Lo que podemos ver tiene un efecto determinante sobre lo que podemos pensar. El tránsito de un medio a otro comportó transiciones cruciales para el desarrollo de la conciencia.

Durante el Mesozoico, desde hace unos 250 millones de años hasta hace 65 millones de años, dos grupos de reptiles, lejanamente emparentados, los cinodontos y los dinosaurios terópodos celurosaurios, dieron origen, respectivamente, a mamíferos y aves. Ambos desarrollaron un cerebro diez veces mayor, con respecto al peso corporal, que en el caso de sus precursores. En los dos grupos, esos cerebros permitieron entablar interacciones sociales complejas, incluidos el cuidado parental y una confianza en el aprendizaje que, andando el tiempo, abarcaría el recurso al empleo de instrumentos.

El cerebro reptil se caracterizaba por pequeños bulbos olfatorios, hemisferios cerebrales estrechos y tubulares (superados en anchura por el cerebelo) y un mesencéfalo dorsalmente expuesto. En aves y mamíferos hay un aumento casi generalizado del tamaño

del cerebro, directamente espectacular en el caso de los hemisferios cerebrales y el cerebelo, implicados en la integración sensorial y motora.

La conciencia en las aves

De la emergencia del cerebro de las aves actuales no se sabe gran cosa. El endocráneo de *Archaeopteryx*, el espécimen de ave más antiguo conocido, del Jurásico tardío (hace unos 160 millones de años), presenta bulbos olfatorios reducidos, grandes hemisferios cerebrales (en contacto con un cerebelo también expandido) y lóbulos mesencefálicos desplazados. Las aves ofrecen, en su conducta, neurofisiología y neuroanatomía, un ejemplo llamativo de evolución paralela de la conciencia. Muestran una memoria prodigiosa de sucesos del pasado, toman perspectiva, planean el futuro, poseen un uso versátil de las herramientas, acuden a la reconciliación y sienten empatía. Los cuervos de Nueva Caledonia se sirven de palillos para cazar insectos y otros componentes de su dieta. Ante la exacta elección del palillo adecuado, algunos etólogos infieren que los cuervos poseen conocimiento de las propiedades físicas de las cosas y de la relación causa y efecto.

Ante tal despliegue de facultades cognitivas, se despierta la duda de si gozan no ya de conciencia orientada a un fin, sino incluso reflexiva, es decir, conciencia de sí mismos. Para descubrir su presencia en animales se recurre al test del espejo, introducido por Gordon Gallup en los años setenta. Este test consiste en pintar un motivo en el cuerpo del animal y colocarlo ante un espejo. Si el animal reconoce la presencia del motivo se considera que es capaz de reconocer la imagen del espejo como un reflejo de sí mismo y no como otro animal. La prueba tiene sus detractores, pero resulta interesante saber que de entre los pocos animales que la han superado se encuentra la urraca.

Hay unas 10 000 especies de aves, que reflejan una enorme variabilidad en el tamaño del cerebro. Si consideramos cuán «caro» resulta el tejido cerebral (requiere unas 20 veces más energía por unidad que el tejido muscular), tienen que existir poderosas razones evolutivas para que determinadas familias hayan invertido en grandes cerebros; la evolución no suele ser derrochadora. Puesto que córvidos y loros, hechas las debidas correcciones en razón del tamaño corporal, tendrían unos cerebros similares a los de los primates, no hemos de sorprendernos que posean una potencia mental similar a la de los monos (que no a la de los grandes simios).

El caso particular de los mamíferos. Elefantes, conciencia y aprendizaje

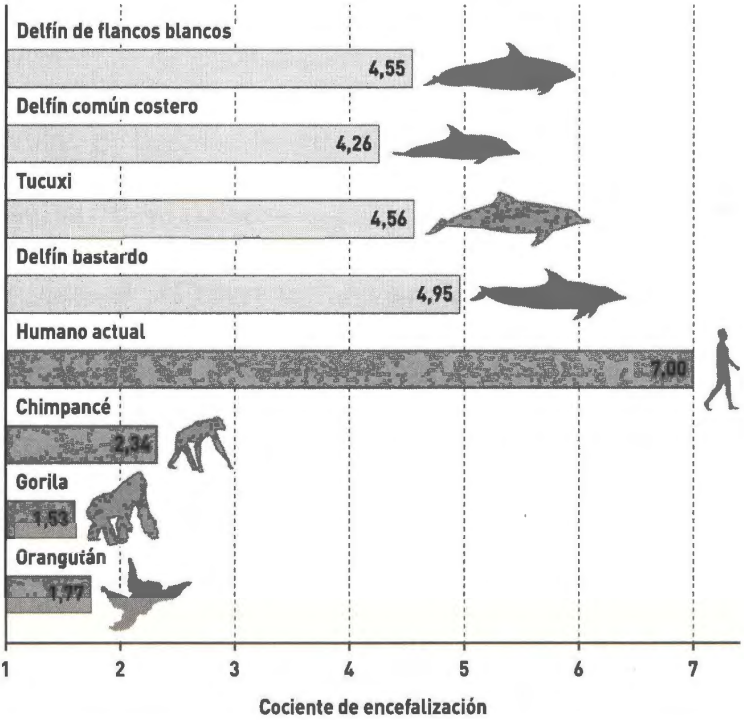
La investigación reciente ha prestado atención especial al incremento evolutivo del tamaño del cerebro, medido en función de la masa del cuerpo; lo que se llama *cociente de encefalización* (fig. 2). Los mamíferos son los animales que presentan un mayor cociente, fruto de la expansión de la corteza cerebral. Esta expansión, el rasgo más obvio de la evolución del cerebro de los mamíferos, vino acompañada de un plegamiento más intenso de la superficie cortical en surcos y giros. Dicho plegamiento cortical facilitaba la expansión de neuronas del córtex.

La corteza se activa durante la cognición y los procesos intelectuales. Pensar, planificar, reflexionar e imaginar, demandan actividad cortical. El córtex, además, almacena los recuerdos y se ocupa del lenguaje, de su interpretación y de su producción. Toda esa expansión de esa estructura cerebral se refleja en la ampliación del repertorio intelectual de los mamíferos.

Abundan los trabajos y relatos sobre inteligencia y conciencia de dos grupos de mamíferos en especial, uno terrestre, los elefantes, y otro marino, los cetáceos. La masa del cerebro del elefante, similar

al humano en términos de estructuras, es de unos 5 kilogramos y posee unos 300 000 millones de neuronas. Estos animales poseen uno de los repertorios sociales más intensos de todas las especies; las familias se separan solo por la muerte o captura. Y exhiben una amplia variedad de comportamientos conscientes asociados con el dolor, el aprendizaje, la imitación, el juego, el altruismo, el uso de herramientas, la compasión, la cooperación, la memoria y la comunicación; un ejemplar de elefante asiático pasó el test del espe-

Fig. 2



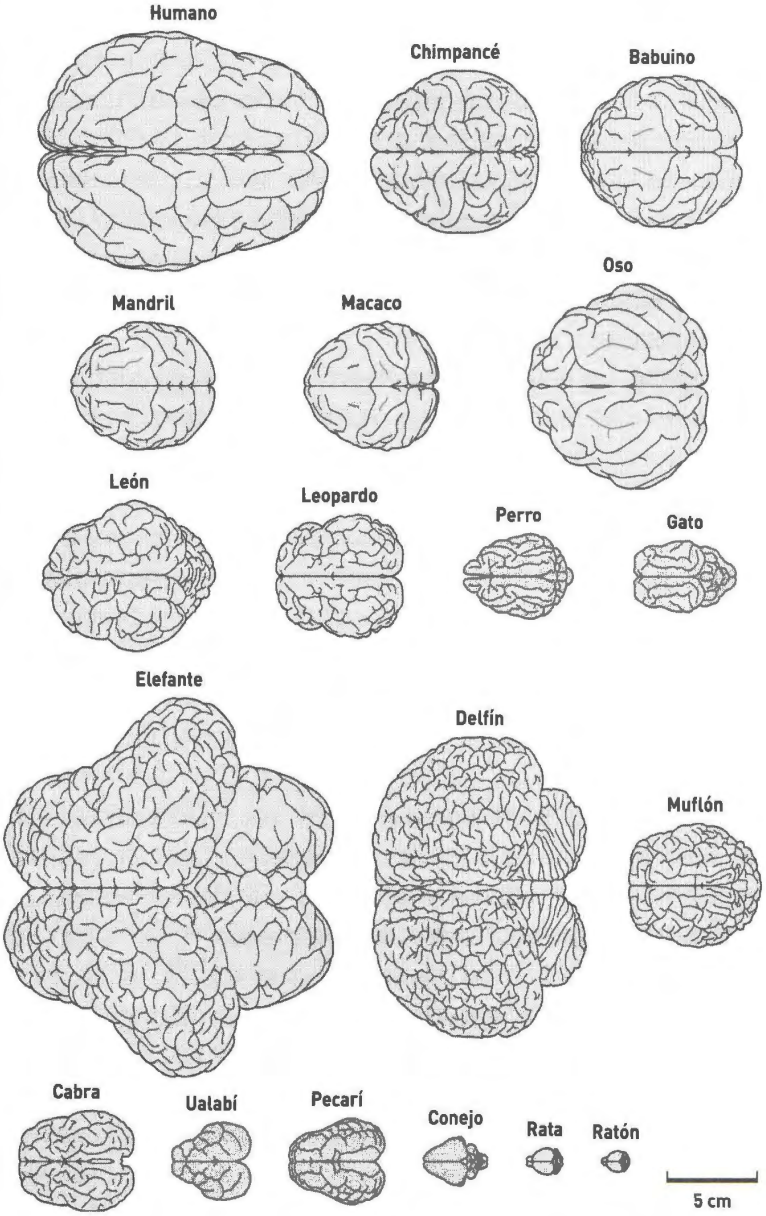
Esquema comparativo del cociente de encefalización de algunas especies con comportamientos complejos. El hombre aventaja a los mamíferos marinos con notable diferencia.

jo. Hemos de reparar también en el hipocampo del elefante, una estructura vinculada principalmente a la memoria, que ocupa un 0,7 % de las estructuras del cerebro; en el hombre comprende solo 0,5 % y en los delfines entre 0,1 y 0,05 %. El cociente de encefalización del elefante oscila entre 1,13 y 2,36, por el 1,77 del orangután, el 4,95 del delfín bastardo o el 7 del ser humano.

A la manera de los humanos, los elefantes van, de forma gradual, aprendiendo a desenvolverse a la par que su desarrollo físico. Dedican al aprendizaje unos diez años. La mayoría de los mamíferos nacen con un cerebro próximo al 90 % del peso en estado adulto; en cambio, los humanos nacen con un 28 %, algunos delfines con un 42,5 %, los chimpancés con un 54 % y los elefantes con un 35 %. De lo que se infiere que los elefantes poseen la mayor cantidad de aprendizaje, aproximándose a los humanos, y que su comportamiento no es meramente instintivo. Los padres enseñan a los hijos a alimentarse, a utilizar las herramientas y a saber cuál es su lugar en la manada. Se cree que, en el desarrollo del comportamiento inteligente, las neuronas en huso, o neuronas de Van Economo, desempeñan un papel central. Pues bien, lo mismo en humanos que en primates, las neuronas en huso aparecen también en los elefantes, ballenas y delfines.

Inteligencia submarina: los cetáceos

El cerebro del delfín posee un sistema paralímbico compuesto por una corteza trilaminar que interviene en el procesamiento sensorial. El tiempo de transmisión en el tronco cerebral es más rápido que el observado en humanos. Para interaccionar con el entorno, se valen de un sistema de radar (ecolocación) semejante al de los murciélagos; puesto que el sonido viaja cuatro veces más rápido en el agua que en el aire, los científicos especulan que la celeridad de transmisión podría ayudar a un procesamiento rápido del



— Distintos cerebros de mamíferos. La similitud estructural contrasta con la diferencia de tamaños apreciable entre unos y otros.

sonido. Esa dependencia estrecha del sonido se hace evidente en la estructura cerebral. El área dedicada a la visión es una décima parte de la observada en humanos; en cambio, la destinada a la imaginería acústica decuplica la del cerebro humano. El calderón común, delfín de la especie *Globicephala melas*, posee más neuronas corticales que cualquier otro mamífero estudiado hasta la fecha, hombre incluido. Con todas esas innovaciones anatómicas, cabía esperar una gran salto adelante en la conciencia del entorno y de sí mismo.

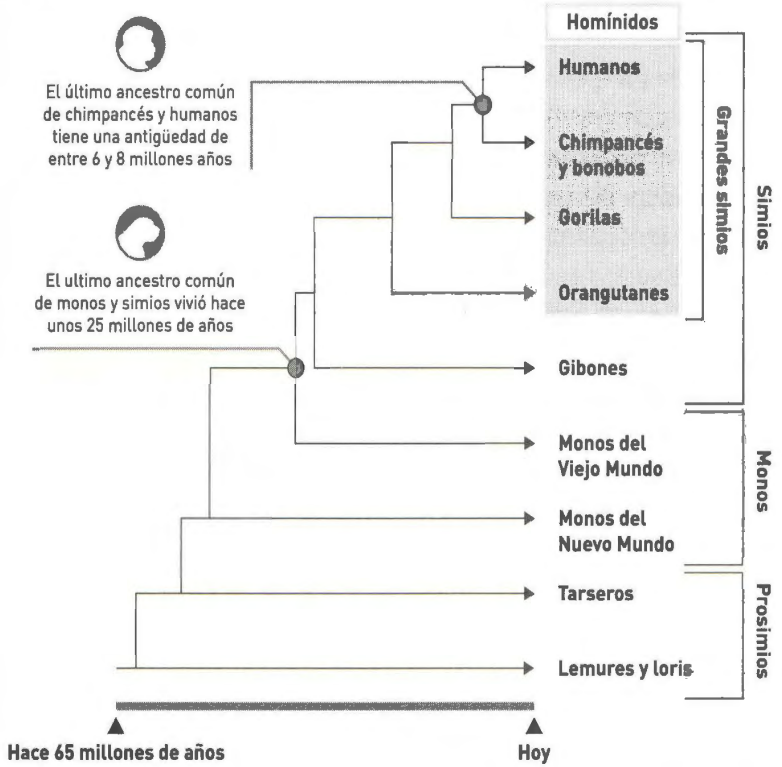
En efecto, los delfines comprenden conceptos de continuidad numérica y discriminación entre números, facultad en la que exceden al resto de los animales. Los miembros del grupo se reconocen entre sí. Por mucho que se haya exagerado sobre las facultades de los delfines, no cabe duda de que estos mamíferos marinos desarrollan de forma óptima numerosas tareas cognitivas que adscribimos a la inteligencia humana: poseen cerebros poderosos, complejos y estructurados, comprenden símbolos en contextos experimentales, crean estructuras sociales, tienen emociones, muestran conciencia de sí mismos, planifican, manifiestan actitudes altruistas y resuelven problemas.

El sistema de comunicación de los cetáceos, su lenguaje, es muy rico. Los sonidos de las ballenas conforman un amplio repertorio. Los defines emiten silbidos y «clics»; los silbidos son sonidos de banda estrecha que emplea para las llamadas de contacto; los clics son pulsos de banda ancha que se emplea en la ecolocación. Parece que serían capaces de aprender una suerte de lenguaje humano de signos. Con todo, la precoz divergencia de la línea filogenética precursora de humanos y delfines impide determinar qué tareas cognitivas contrastar, por cuanto el cerebro del hombre y el cerebro del delfín siguieron cursos evolutivos muy distintos, con facultades cognitivas diferentes, propiciadas por entornos dispares. Valga decir que los delfines, al igual que las orcas, han superado el test del espejo en numerosas ocasiones.

Los primates, a un paso del ser humano

Nuestros parientes más cercanos, los primates, pueden ya anticipar el futuro, signo eminente de conciencia. Juntos, hombre y grandes simios (chimpancés, bonobos, gorilas y orangutanes) formamos la familia de los homínidos (fig. 3). Aunque las capacidades cognitivas de los primates nos son bien conocidas desde que en 1916 Robert Mearns Yerkes los sometiera a pruebas de elección

Fig. 3



Esquema que muestra el árbol filogenético de los primates y la relación ancestral entre los grandes simios, los monos y los prosimios.

múltiple, de apilamiento de cajas y otras, no fue hasta 2016 que se constató que poseían, además, una facultad que se creía exclusiva y característica del hombre. Conocida por *teoría de la mente*, es la capacidad de discernir deseos, intenciones y conocimiento en otros. Se habían manifestado hábiles en el engaño de sus compañeros y en el reconocimiento de sus motivos, pero se corroboró que saben cuándo otros sostienen una falsa creencia.

Los primates, con cerebros poderosos, han dado pruebas de poseer un alto nivel cognitivo, que les faculta para la búsqueda de alimento y para establecer lazos sociales. Algunos han desarrollado hábiles estrategias de caza que requieren cooperación y jerarquización. El carácter grupal de su vida social, y la consiguiente necesidad de hallar un equilibrio entre competencia y cooperación, fomentó el desarrollo de la denominada *inteligencia maquiavélica*, lo que tuvo como fruto unos cerebros mejor equipados para entender la causa y el efecto, concatenación necesaria para comprender la intención de otros individuos. Dotados de capacidad de engaño y manipulación consciente, reconocen a familiares y miembros del propio grupo. Pueden emplear símbolos y entender aspectos del lenguaje humano con sintaxis elemental, conceptos de número y secuencia numérica.

No parece, en cambio, que los primates puedan formular preguntas. También existen evidentes limitaciones en los chimpancés en la comprensión de la semántica, la sintaxis avanzada, la fonética y la pragmática, que son centrales en el lenguaje. Aunque durante mucho tiempo se creyó que la ausencia de habla de los primates podía deberse a carencias anatómicas, en la actualidad se cree que es porque no disponen de la circuitería cerebral requerida para el control fino motor, el aprendizaje vocal y otros atributos necesarios. Esta incapacidad, más que cualquier otra, señala la frontera entre la mente del primate y la mente humana, tanto a nivel cognitivo como en el de la conciencia. A pesar de esto último, hay que señalar que los grandes simios, gorilas, oranguta-

nes, chimpancés y bonobos, superan con éxito el test del espejo de forma rutinaria.

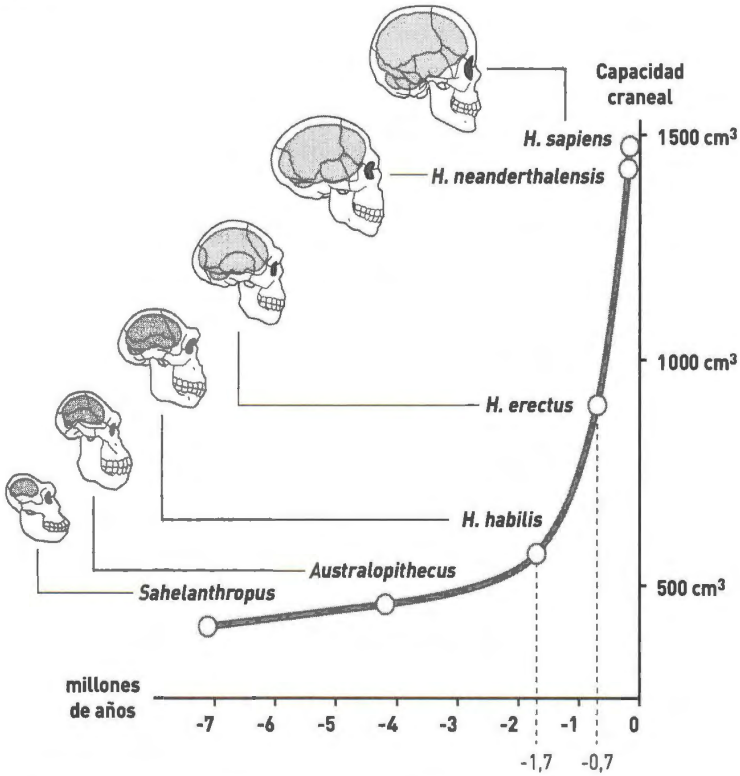
EL GÉNERO *HOMO*, FRUTO SINGULAR DE LA EVOLUCIÓN

Estamos en la antesala del hombre moderno. A la hora de trazar la historia de la especie humana, contamos con un muestrario de homínidos fósiles que nos permiten secuenciar con bastante aproximación las sucesivas etapas y los distintos ensayos de la naturaleza, la diversidad de especímenes forjada, hasta el advenimiento de *Homo sapiens*. Aun así, el recorrido empieza con una incógnita, puesto que, aunque sabemos que hace entre doce y siete millones de años se produjeron una serie de transformaciones evolutivas que fueron determinantes para la bifurcación entre un linaje primate y un linaje humano, no disponemos de registro fósil de ellas.

Se entiende por último antepasado común de humanos y chimpancés la especie de la que emergieron, por un lado, el linaje hominino (con especies que andan erguidas y de las cuales solo sobrevivió el hombre) y, por otro, el linaje de chimpancés y bonobos. Los homininos forman una gran diversidad de especies del Mioceno, con docenas de especies conocidas en el registro fósil de África, Europa y Asia (fig. 4). Estas especies variaron en su anatomía y ecología. Eran mucho más parecidas a los primates actuales que a los humanos. Los homininos más antiguos conocidos son *Sahelanthropus tchadensis*, de Chad, y *Orrorin tugenensis*, de Kenia. *Sahelanthropus*, de unos 6 o 7 millones de años de antigüedad, presentaba un volumen cerebral de 360 cm^3, en el rango del chimpancé.

Hace unos cuatro millones de años encontramos los primeros miembros del género *Australopithecus*, homininos que se adaptaron a la deambulación bípeda, aunque siguieron dependientes de los árboles para protegerse y alimentarse. Su volumen cerebral era

Fig. 4



Especies principales del linaje hominino, fecha de aparición y respectiva capacidad craneal.

de 390 a 515 cm³, similar a chimpancés y gorilas, lo que apunta hacia una capacidad cognitiva parecida en buena medida a la de los grandes simios.

Australopithecus sediba, un hominino de dos millones de años de antigüedad, descubierto en 2008, ejemplifica la dificultad de la taxonomía paleoantropológica, pues constituye un auténtico mosaico de piezas compartidas con diferentes especies de homininos posteriores. Algunos rasgos humanos, como el bipedismo,

se adquirieron muy pronto, mientras que otros, como un cerebro poderoso, tardaron en conseguirse. No hubo una flecha lineal en la evolución.

Mas ¿cómo era el cerebro de estos iniciadores de nuestro linaje, alejados de la línea de los grandes simios? ¿Cuánto podemos conocer o inferir del análisis del endocráneo fósil? Sea por caso la reconstrucción del cráneo de *A. sediba*. Se aprecia, por ejemplo, la anticipación de los cambios operados en el cerebro humano, como un mayor lóbulo frontal derecho. Cierto abultamiento en el giro frontal inferior, impensable en primates no humanos, indicaría la existencia allí de un centro importante de interconexión neuronal, una región que, en los humanos, se encuentra asociada al comportamiento social y al lenguaje. Es decir, que lejos de un mero aumento de tamaño, la remodelación del cerebro en nuestro linaje posiblemente vino inducida por la selección natural de determinadas áreas vinculadas a la vida grupal. Esta tesis, que examinaremos en detalle más adelante, se conoce como *del cerebro social*.

La especie humana apareció merced a una combinación de cambio ambiental, fortuna genética y casualidad geológica. Cuando se explica la evolución humana se corre el peligro de construirla como un relato estructurado de unas poblaciones que iban acabando con formas precedentes y eran a su vez sustituidas por otras en un proceso de aproximación creciente a nuestra especie, conciencia incluida. Esa interpretación del curso evolutivo adolece, de entrada, de una visión finalista de la evolución; esto es, los mecanismos de la especiación serían deterministas, no aleatorios. Además, degrada la especie extinguida a un nivel inferior y, por ende, de importancia secundaria. Las ramificaciones laterales, como pudiera ser *Homo florisiensis*, un hominino enano que vivió en Indonesia hasta tiempos recientes, son tratadas con desdén.

Los primeros fósiles del género *Homo* (en el que se incluye tanto nuestra especie, *H. sapiens*, como otras ya extinguidas, por ejemplo *H. erectus*), aparecieron en África Oriental y datan de hace 2,3 mi-

llones de años. Esos especímenes iniciales apenas se distinguían, en tamaño corporal y cerebral, de los australopitecinos, aunque manifestaran discrepancias en el molar, lo que refleja un cambio de dieta. Y una nota apenas subrayada que refleja un estadio avanzado de inteligencia. Esos primeros homininos preferían claros de bosque y umbrías, con agua dulce cercana, para morar y preparar la comida cazada en pradera abierta. Comienzan a fabricar herramientas de piedra para desollar y cortar las piezas animales, lo que supone añadir carne y médula ósea, ricas en energía, a una dieta vegetal. De hecho, *Homo habilis*, que vivió hace entre 2,3 y 1,4 millones de años en África Oriental va asociado a esa alimentación y la talla de la piedra.

> Tenemos encima de los hombros el objeto más complejo del universo.
>
> MICHIO KAKU

Su descendiente más exitoso, *Homo erectus*, que apareció hace 1,9 millones, se dispersó por África y Eurasia; fue el primero en abandonar África. Muy versátil, se adaptaba a entornos muy dispares. En él convergieron una serie de características que preanunciaban a *Homo sapiens*, en especial un cerebro poderoso (llega a alcanzar un volumen de 1250 cm^3) y una cada vez más extendida cooperación social. Se ha insinuado incluso que pudiera haber gozado de algún atisbo de pensamiento simbólico, expresado en un motivo geométrico en zigzag descubierto en una concha de molusco de la Isla de Java, de unos 500 000 años de antigüedad. Hace 1,7 millones de años apareció *H. erectus*, y hace 700 000, *H. heidelbergensis*, un espécimen muy parecido a nosotros en términos de capacidad cognitiva. Desde hace unos 400 000 años comenzó a controlar el fuego. Se supone que *H. neanderthalensis* evolucionó a partir de poblaciones europeas de *H. heidelbergensis* hace unos 250 000 años.

Del grado de conciencia y creatividad de los neandertales dan cuenta sus obras: enterraban a sus muertos, sellaban las puntas

de sus lanzas con savia de abedul y preparaban pigmentos con los que adornarse. Los encuentros entre neandertales y humanos no fueron esporádicos. Si el lector vive en Asia Oriental, hallará tres neandertales en su árbol familiar; europeos y sudasiáticos tendrán dos; los melanesios, solo uno.

Con *H. sapiens* llega el hombre moderno. Hace unos 60 000 años partió de África rumbo a Eurasia, expandiéndose por todo el globo. No está dilucidado, ni muchísimo menos, la cronología y los patrones de las transformaciones biológicas y culturales que ocurrieron en Europa Occidental entre hace 45 000 y 35 000 años, intervalo crítico en la sustitución de los neandertales por *H. sapiens*. Nuestra especie es la primera en mostrar un nivel elevado de pensamiento simbólico, como demuestran las primeras estatuillas de figuras femeninas y animales, así como los primeros instrumentos, de alrededor de 40 000 a.C.

El cerebro humano

La especie humana que emerge en África hace unos 200 000 años no presenta un cerebro llamativamente grande. Disfrutaba, eso sí, de una mayor corteza de asociación, involucrada en una gran variedad de procesos cognitivos. También poseía un lóbulo frontal comparativamente grande en el que se iban a desarrollar las capacidades mentales de alto nivel, las que nos definen como seres individualmente humanos. Aunque ya hemos visto que se dan casos puntuales en otras especies animales, solo en el hombre y merced a su tamaño cerebral confluyen la autoconciencia, el lenguaje y la teoría de la mente. Hay en nuestro cerebro unos 86 000 millones de neuronas. El córtex aloja al menos 10^{14} conexiones sinápticas. Por otro lado, el cerebro plenamente funcional es dinámico y se autoorganiza durante el desarrollo y el aprendizaje; una propiedad conocida como plasticidad cerebral. Densamente empaquetadas,

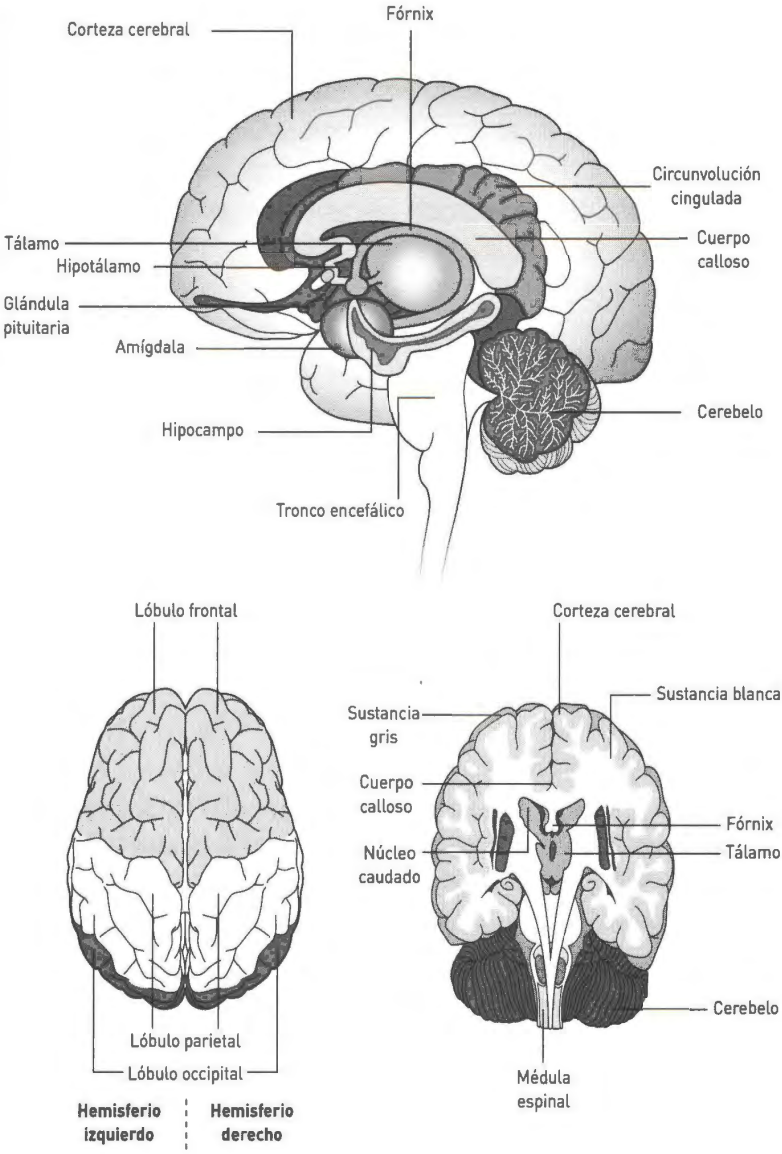
se calculan unas 27 000 neuronas y 1 000 millones de conexiones sinápticas por milímetro cúbico de tejido cerebral. En respuesta a colores, movimientos, caras, perros, palabras, sonidos y muchos otros elementos se activan diferentes grupos de neuronas, que se reparten dispersas entre los 16 000 millones de neuronas que componen la corteza cerebral. (El cerebro del hombre adulto, con un 2 % de su peso corporal, da cuenta del 20 % del consumo de energía corporal total.)

En promedio, cada neurona recibe unas 5 000 sinapsis. Aunque solo una fracción pequeña en un tiempo dado se hallará activa, la mayoría de las neuronas requerirá la acción simultánea de 5 a 20 sinapsis. Para transmitir información se sirven de más de un centenar de neurotransmisores distintos. Con el tiempo, esas conexiones cambian, se deshacen o se reforman.

En el curso de la evolución del sistema nervioso, no hubo reforma de planos, sino aprovechamiento de materiales preexistentes. El cerebro, ligeramente oblongo, de color rosa grisáceo y 1 400 gramos de peso, presenta en su superficie externa, o córtex, circunvoluciones más o menos profundas. De su parte posterior pende el cerebelo, estructura del tamaño de una pelota de béisbol, con pequeños surcos cruzados. Distinguimos los nervios craneales, que vehiculan la información procedente de los ojos, oídos, nariz, lengua y cara. Caracteriza al cerebro la simetría de los hemisferios. Todos los mamíferos poseen un cerebro antiguo o tallo cerebral (cerebro reptiliano), sistemas límbicos por encima del tallo cerebral (cerebro paleomamífero) y, por último, el córtex, la adición más reciente. El cerebro ha crecido por adición de nuevas capas para salir al paso de nuevos retos del entorno. Entre las diversas hipótesis sobre la función de las capas corticales, se ha propuesto que la capa más externa es la más estrechamente asociada con el procesamiento consciente; las capas subyacentes contribuyen a los procesos inconscientes (fig. 5).

Visto en retrospectiva, la evolución humana fue una transición singular, que aconteció solo una vez entre los primates. No obstan-

Fig. 5



Representación gráfica de las principales estructuras del cerebro.

te, nuestro indudable éxito a la hora de ocupar todas las zonas climáticas y cientos de nichos ecológicos se debe más a la evolución cultural que a la genética; ignoramos qué diferencias neurobiológicas separan a una persona ahorradora de otra derrochadora, por qué unos encuentran fáciles las matemáticas y otros incomprensibles, por qué una persona es vengativa y otra perdona con facilidad. La neurociencia aporta, de momento, fragmentos de una explicación cuya razón global se nos escapa.

EL CEREBRO SOCIAL Y LA VENTAJA EVOLUTIVA DE LA CONCIENCIA

Cuando pensamos, pensamos siempre en algo. A eso se le llama *intencionalidad*. La intencionalidad se organiza en una estructura jerárquica. La intencionalidad de primer orden es la conciencia de sí mismo; la intencionalidad de segundo orden es la representación de la mente del otro, lo que a su vez implica una teoría de la mente. Desempeña una función central en la interacción y comunicación social. Saber, o suponer, qué pasa por la mente de otro, en cierto modo leerle la mente, nos permite predecir, explicar, moldear y manipular su conducta de una forma que trasciende la capacidad de cualquier animal (excepto, tal vez, algunos primates). La lectura de la mente implica la deducción del significado de los estados mentales internos a partir de sus signos externos.

En la medida que una teoría de la mente posibilita formas complejas de interacción mutua, pudo ser el primer paso de la evolución humana que hizo posible la cooperación generalizada. Esta capacidad para la cooperación permitió a nuestros antepasados expandirse por el planeta, en detrimento de otros homínidos y muchas especies que se quedaron en el camino. Esa es pues una de las razones, tal vez la más poderosa, por la que la conciencia ha sido una característica seleccionada por la evolución: está en la base de nuestra sociabili-

> PRIMATES LECTORES DE MENTE

Hasta hace poco, era una suposición ampliamente aceptada por la comunidad científica que los humanos son los únicos capaces de atribuir estados mentales (deseos y creencias, por ejemplo) a otros. En un experimento realizado por Fumihiro Kano y su equipo en la Universidad de Japón se siguió la mirada de chimpancés, bonobos y orangutanes al tiempo que los primates observaban breves vídeos. Dos vídeos mostraban una persona que observaba la ocultación de un objeto y luego lo buscaba. Un tercer vídeo sometía a prueba la comprensión de los primates de falsas creencias al mostrar el cambio de lugar del objeto mientras la persona estaba distraída. Cuando la persona se preparaba luego para la búsqueda de los objetos, la mayoría de los primates miraban anticipadamente el lugar donde la persona creía falsamente que estaba escondido el objeto. Ello parece indicar que preveían un error derivado de una falsa creencia.

— Escena del vídeo que veían los macacos en el experimento que hicieron Fumihiro Kano y su equipo. En el vídeo intervenían humanos que eran atacados por actores disfrazados de monos. Los chimpancés, bonobos y orangutanes que observaban las escenas empatizaban con los seres que aparecían.

dad. Somos sociales porque tenemos conciencia, y nuestra sociabilidad es más rica cuanto más desarrollada está nuestra conciencia.

Se da por cierto que la teoría de la mente opera mediante la simulación de lo que otras mentes están pensando, de lo que tenemos indicios directos e indirectos. A finales de los noventa se descubrieron las neuronas espejo, ampliamente distribuidas en el cerebro. Se activan cuando observamos que alguien está haciendo determinada acción, en respuesta a algún estímulo, y reflejan especularmente la actividad neuronal. Las técnicas de neuroimagen muestran que, cuando tratamos con otros, se activan, además, partes del córtex prefrontal y dos áreas del lóbulo temporal. A medida que aumenta la complejidad de las intenciones que atribuimos a otros, por ejemplo, «sé que usted supone que A quiere que B crea que C se propone robar un coche», mayor es la demanda de capacidad neural. Mediante el uso del lenguaje y la compleja circuitería cerebral dedicada a la sociabilidad, los primeros hombres modernos pudieron construir comunidades cuyo tamaño estaba limitado solo por la capacidad neuronal de sus miembros.

Esas y otras observaciones han dado origen a la hipótesis del cerebro social. De acuerdo con ella, el primer factor de selección de la evolución del cerebro de los primates (y quizá de todos los mamíferos y aves) fue la adquisición de formas más complejas de sociabilidad. Dicha hipótesis parte de la constatación de que existe una fuerte correlación entre volumen relativo del neocórtex y el tamaño medio del grupo social en monos, grandes simios y hombre. Ese fenómeno obedecería a la complejidad de las interacciones, que aumenta con el tamaño del grupo. Un cerebro poderoso ofrece a los individuos los medios para forjar lazos sociales que potencian la adaptación individual y la cohesión social del grupo. En particular, el neocórtex daría base a la teoría de la mente. Aunque otros aspectos del comportamiento (de forma notable, la inventiva ecológica) guarden también correlación con el tamaño del cerebro, son quizá fruto de un tamaño cerebral mayor y no causa evolutiva.

Otras ventajas para la supervivencia, tales como el pensamiento simbólico (es decir, abstracto) y la transmisión social de comportamientos son también fundamentalmente actividades cooperadoras que no parecen dispuestas a darse entre individuos egoístas.

EL LENGUAJE, DISTINTIVO DE LA CONCIENCIA

La contribución de la conciencia a nuestro carácter social no se limita a proveernos de una teoría de la mente. Las mutaciones genéticas que surgen a comienzos del linaje *Homo* crearon las posibilidades anatómicas de una de las expresiones más elevadas de la conciencia, el habla. Los humanos desarrollaron un lenguaje que acelera considerablemente la formación de las vías nerviosas en el cerebro, en particular las implicadas en el pensamiento simbólico y abstracto, sobre el que se articula intrínsecamente una conciencia tan compleja como la humana.

De ese modo, lenguaje y conciencia se reforzarían el uno a la otra a todos los niveles, tanto el neurológico como el conductual. Un sistema consciente prelingüístico permite el desarrollo de una teoría de la mente sin la cual la comunicación, lingüística o de cualquier otro tipo, sería infinitamente menos eficaz y profunda, y el lenguaje, a su vez, permite tejer redes sociales cada vez más complejas que conducen a una mayor capacidad para interpretar al otro y a nosotros mismos. Además de ser el lenguaje un importante acelerador de la evolución cerebral, como acabamos de decir.

En definitiva, el pensamiento se funda sobre el lenguaje y su introducción confiere un impulso poderoso al desarrollo de la mente consciente.

Si los humanos tienen que hablar y utilizar el lenguaje, entonces hay un par de prerrequisitos anatómicos que la evolución ha de satisfacer primero. La articulación de los sonidos requiere cambios anatómicos en los cuales la laringe descienda y la lengua cambie de

forma, para crear una vía de aire denominada *tracto vocal supralaríngeo*. El cuello se alarga para acomodar una laringe hundida y posibilitar la deglución. No basta con la anatomía; el lenguaje necesita también estructuras cerebrales para prestarle soporte. El uso del lenguaje requiere la capacidad de anticipar lo que ha vocalizarse, planificarse y mover los labios. Desde finales del siglo pasado se sabe que una de las claves en la base genética de lenguaje reside en el gen FOXP2, situado en el cromosoma 7. No se trata tanto del gen del lenguaje cuanto del mando y control que afecta a la expresión de cientos de otros genes, particularmente durante el desarrollo embrionario. El gen FOXP2 no es exclusivo de los humanos. Existen versiones variantes entre los mamíferos. Según parece, neandertales y denisovanos poseían genes FOXP2 idénticos al humano. (Los denisovanos eran humanos arcaicos, emparentados con los neandertales, cuyas poblaciones se solaparon con antepasados de los humanos modernos.) La posesión del gen FOXP2 no es suficiente, pues, aunque sí necesaria, para adquirir el lenguaje.

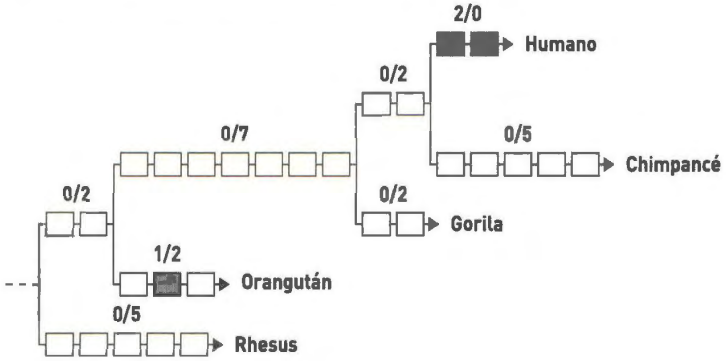
> La propiedad que caracteriza al hombre, por encima de cualquier otro rasgo distintivo, es la posesión del lenguaje.
>
> Morten H. Christiansen y Simon Kirby

En la medida en la que puede decirse que el hombre conoce y se conoce a través del lenguaje, podría decirse que este encierra la clave de la conciencia humana. Resulta pues irónico que un posible obstáculo hacia una comprensión última de la naturaleza de la conciencia resida, precisamente, en la incapacidad de traducir nuestras experiencias más allá del lenguaje en primera persona. En esta interpretación, el lenguaje habría hecho posible nuestra conciencia al precio de erigirse en su carcelero.

El lenguaje sería una magnífica coda para un viaje por la evolución de la conciencia, excepto por una cuestión: ¿podría encontrarse el hombre, su cerebro y su conciencia, todavía en proceso evolutivo? No hay razón para que no lo esté. La evolución opera a

> ¿EL GEN DEL LENGUAJE?

Desde que el médico francés Paul Broca descubrió, en 1865, el papel del córtex frontal inferior izquierdo en el habla, y hasta 1998, se había avanzado muy poco en el conocimiento de la infraestructura neural tras la producción del habla. En esa fecha, se comprobó que las mutaciones de un gen, el FOXP2, estaban relacionadas con la afectación de las habilidades lingüísticas. Estudios neurocientíficos posteriores acometidos en animales inducen a suponer que ese gen ayuda a los niños a aprender a hablar al concederles un control inconsciente de los labios y la lengua. Introducido en el genoma del ratón, el gen humano FOXP2 facilitó que un lemúrido aprendiera a moverse por un laberinto en forma de T en busca de una fuente de alimento recompensadora. En su caso, el gen contribuyó al desarrollo de la memoria declarativa (memoria de lugares y sucesos), lo que indica que, en animales, el FOXP2 está relacionado de forma positiva con la plasticidad cerebral. El gen ha experimentado dos mutaciones principales desde que nos separamos de nuestros antepasados vivos más cercanos, los chimpancés, una de las cuales permite el desarrollo coordinado del esófago y los pulmones.



Esquema cronológico que muestra las mutaciones que afectaron a los aminoácidos del gen FOXP2 (rectángulos más oscuros) en la filogenia de los primates. Los números indican cuántos cambios beneficiosos (izquierda) o irrelevantes (derecha) ocurrieron en cada rama.

través de mutaciones aleatorias que crean nuevos genes, por lo común ligeramente distintos de los preexistentes, que puede implicar el simple cambio de un nucleótido y, no obstante, tener un considerable impacto biológico. Los nuevos pueden resultar ventajosos, neutros o dañinos. La reproducción cruzada posibilita el flujo de tales genes. Por deriva genética, los nuevos genes pueden ir afianzándose. Un ejemplo de evolución reciente es el gen de la tolerancia a la lactosa. Los ejemplos habituales de una evolución en marcha se refieren a las adaptaciones a los climas locales. La exposición a la radiación solar y al calor tropical crea una presión de selección de los genes que privilegian la producción de melatonina.

En la evolución del cerebro se han ido configurando tres funciones cerebrales: perceptivas, cognitivas y motoras. En el hombre, las acciones intencionales implican interacciones complejas entre los tres sistemas. Se ha comprobado que numerosas regiones cerebrales que se creían exclusivas de la percepción o del control motor, incluida la corteza motora, participan en simulaciones internas de acción; de hecho, vimos un ejemplo en el arranque del capítulo anterior. Dadas unas tan complejas e imbricadas relaciones, y un medio totalmente condicionado por una tecnología siempre cambiante, ¿quién podría asegurar que la conciencia humana ha alcanzado ya su forma definitiva y final?

03 EL CEREBRO, BASE DEL YO

Que la conciencia depende del cerebro, ya sea de un lugar concreto o de muchos, nadie lo pone en duda. Nuestra capacidad de visualizar la actividad cerebral ha alimentado numerosas teorías científicas sobre la conciencia y ha puesto el foco en un concepto clave: la información.

Por definición, la ciencia experimental no se ocupa de lo intangible e inmaterial, de lo no mensurable. ¿Por qué abordar pues, la conciencia?, se preguntó Francis Crick cuando realizó un giro profundo en su brillante carrera académica en genética molecular, con premio Nobel incluido por el descubrimiento de la estructura helicoidal del ADN. Si ese hallazgo le llevó a las puertas del significado de la vida, la investigación cerebral, esperaba, habría de conducirle a la esencia de la persona, su vida mental. No era empresa baladí ni fácil. De entrada, se trataba de un fenómeno excepcional, cuya investigación científica planteaba retos inéditos y propiciaba la aparición de teorías dispares sobre su naturaleza, lastradas todas por una abrumadora escasez de datos objetivos y la imposibilidad de test experimentales intersubjetivos y concluyentes.

El interés de Francis Crick en neurología le venía de lejos, de sus tiempos estudiantiles. Mediados los setenta, cuando abandonó la genética molecular para centrarse en su nueva pasión, comenzó por la investigación sobre las espinas, o pequeñas protuberancias

de las dendritas. Crick empezó por ahí, pero su mirada estaba puesta en la conciencia.

La experiencia consciente no era observable directamente, ni podíamos generar a voluntad datos sobre la relación entre procesos físicos y experiencia. Pero sí había acceso a una fuente rica de información en nosotros mismos; sumábase a ello que muchas regularidades importantes entre experiencia y procesamiento podían inferirse de condiciones sobre la experiencia propia o a partir de la información verbal de lo que sucedía a otros. Quedaba, pues, justificado el estudio científico de la conciencia, que Crick iba a abordar en compañía de un joven neurocientífico, Christof Koch.

CORRELATOS NEURONALES DE LA CONCIENCIA

Para ahormar la conciencia en su nuevo formato, el método científico, Crick y Koch utilizaron el concepto de «correlato neuronal». En síntesis, un estado de un conjunto de neuronas N es un correlato neuronal de un estado C de la conciencia, si y solo si la existencia de N, consideradas las leyes de la naturaleza, basta para la existencia de C. Con otras palabras, la existencia de N es necesaria y suficiente para la existencia de C. Conviene añadir que el correlato neuronal es un estado mínimo que tenga ese efecto: el correlato puede venir acompañado de muchos más procesos que no son esenciales para la conciencia, aunque vayan normalmente asociados a ella. Se centraron en la actividad neural relacionada con una modalidad sensorial específica, el sistema visual de primates, dejando de momento sin explorar otros aspectos de la conciencia.

Para poder hacerse una idea de cuál podría ser el correlato neuronal de la conciencia, Crick y Koch prestaron especial atención a cómo logra el cerebro que la información procesada simultáneamente en diferentes áreas de la corteza cerebral (forma, orientación, color, movimiento, profundidad, etc.) produzca

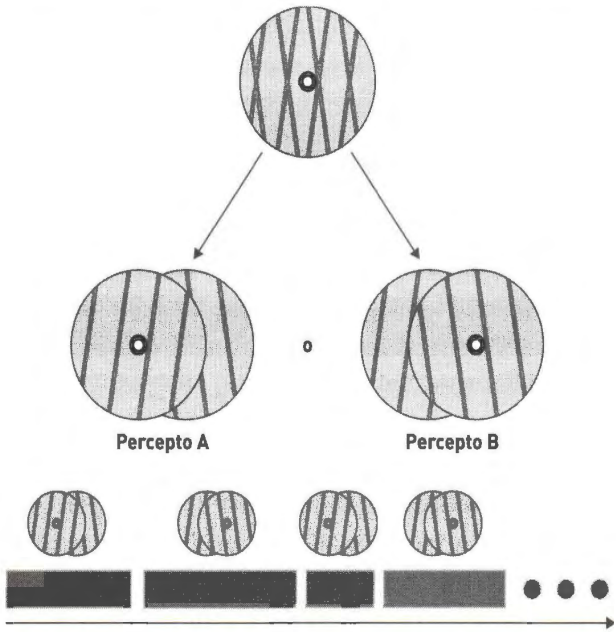
una percepción unificada, continua y coherente. En la jerga de la disciplina, a este interrogante se le conoce como el problema de la unión, del inglés *binding problem*. Tras el descubrimiento, efectuado en un experimento con gatos, de que la visibilidad consciente de una imagen en forma de barra estaba ligada a una actividad eléctrica sincronizada del cerebro, Crick y Koch plantearon que el cerebro estaría adaptado para que circuitos neuronales alejados espacialmente y que procesan distintos atributos de una percepción quedasen unidos funcionalmente al disparar sus impulsos eléctricos de forma sincronizada en oscilaciones que llamaron «de los 40 hercios» (en realidad, de entre 35 y 75 hercios, una parte del llamado *intervalo gamma de oscilaciones eléctricas*, es decir, una actividad eléctrica cuyos máximos y mínimos se repiten entre 35 y 75 veces por segundo). La idea era que si, por ejemplo, se percibía un cuadro rojo, la sincronización de las neuronas encargadas de la forma y del color indicaba al resto del cerebro la unión de ambos elementos.

> Casi todos los estudiosos de la conciencia sostienen que ser consciente de algo estriba en tener una experiencia singular e integrada de ese algo.
>
> CHRISTOF KOCH

Con posterioridad, Crick y Koch abandonaron la idea de que ese tipo de oscilación estuviese correlacionado con la conciencia. Como se ha ido comprobando después, hay estados inconscientes en los que se produce ese tipo de sincronización (durmiendo y sin soñar, o anestesiados), e incluso se intensifica. Más aún, se puede ser perfectamente consciente de imágenes sin presencia de esa sincronización, que se produce solo con determinados tipos de estímulos visuales percibidos conscientemente, pero no con imágenes de otro tipo, incluyendo algunas muy comunes.

En 2003, Crick y Koch plantearon que los estados conscientes emergían de coaliciones de neuronas, reforzadas mutuamente

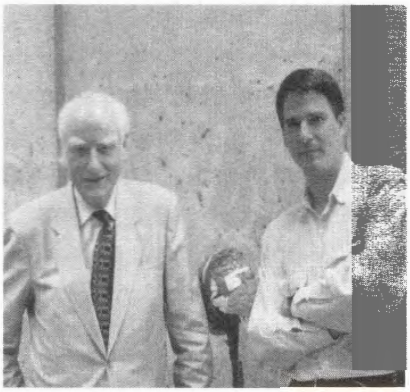
Fig. 1



Incluso en el caso de una imagen ambigua como la que resulta de superponer uno cualquiera de dos discos rayados transparentes (arriba), la conciencia solo presenta una opción con exclusión de la otra (bien el percepto A, bien el B), aunque puede irla alternando.

por la intensidad de sus interconexiones, que competían entre sí por representar los estímulos sensoriales recibidos, de forma que la coalición ganadora (efímeramente ganadora) constituía el contenido de la conciencia en los momentos en que durase su victoria, para enseguida ser desplazada por nuevas coaliciones más adecuadas a los nuevos estímulos (fig. 1). El correlato neural de la conciencia, postularon, había de implicar una actividad cooperadora, mediada por sinapsis eléctricas y químicas, entre neuronas del córtex, tálamo y otras estructuras cerebrales.

> UN FÍSICO ESTUDIA LA CONCIENCIA



Francis Crick y Christof Kock en la época en que ambos se dedicaron al estudio de la conciencia.

Francis Crick es conocido por el descubrimiento de la estructura helicoidal de la molécula del ADN, sin duda uno de los cuatro o cinco hallazgos científicos más relevantes de los últimos cien años. Físico de formación, hacia 1980 reorientó su interés hacia la neurociencia, una disciplina por aquel entonces constituida por numerosos programas de estudio dispersos. Dentro de la neurociencia decidió ocuparse de la conciencia, un tema que muchos investigadores consideraban tabú por su profunda carga de subjetividad. Cualquier intento de explicar la conciencia únicamente desde la ciencia cognitiva estaba condenada al fracaso, sostenía Crick, dado que era inútil pretender inferir el funcionamiento de algo tan complejo como el cerebro sin antes comprender su funcionamiento a escala neural. El hilo del que decidió tirar para adentrarse en el laberinto de la conciencia fue la percepción visual, en parte porque la conciencia de estar viendo una imagen es un dato fácil de obtener tanto de sujetos experimentales humanos como animales. Con la llegada de técnicas no invasivas de visualización de la actividad neural se pudo relacionar de forma directa cerebro con estado consciente e ir hallando correlatos neuronales de aquellos. Aunque la naturaleza última de la conciencia sigue siendo hoy un tema candente de investigación, la fe inconmovible de Crick en la posibilidad de abordar la cuestión empíricamente, unida a su peso intelectual, inspiró a generaciones enteras de jóvenes neurocientíficos.

EL LÍMITE DE LA INVESTIGACIÓN POR CORRELATOS

Al estudio de los correlatos neuronales podemos aproximarnos desde la información extraída del examen de pacientes neurológicos cuyas lesiones, naturales o inducidas, les alteraron la conciencia. Se supone que si un aspecto de la conciencia persiste intacto tras la lesión de cierta área cerebral, el área en cuestión no contendrá ningún correlato neuronal de la conciencia. El cerebelo, por ejemplo: aunque posee muchas más neuronas que la corteza cerebral, sus lesiones solo crean, por ejemplo, problemas de coordinación de movimientos y no afectan a la conciencia de los pacientes. En cambio, los daños de ciertas estructuras que aparecieron pronto en el curso de la evolución en el tallo o tronco cerebral, la parte en la que la médula espinal se une al cerebro, privan completamente de conciencia a las personas, dejándolas en coma o en un estado vegetativo persistente.

> Aunque yo creo en el principio de localización cerebral [de las facultades mentales], me pregunto dentro de qué límites ha de aplicarse ese principio.
>
> PAUL BROCA

Sobre la base de esta evidencia, una primera conclusión es que el sistema corticotalámico resulta clave en el devenir de la conciencia. El tálamo es una estructura formada por neuronas situado dentro del telencéfalo (la masa dividida en dos hemisferios cubierta por las circunvoluciones de la corteza cerebral) muy interconectado con la corteza, al que expide señales sensoriales y que interviene en el estado de vigilia o sueño. Las lesiones que afectan a la conciencia suelen ser lesiones de la corteza y de la materia blanca que interconecta regiones no contiguas de la corteza, y a menudo también afectan al tálamo. En cambio, las lesiones de los demás componentes del cerebro (el hipocampo, por ejemplo, o los llamados *ganglios basales*) no parecen afectar a la conciencia.

Sin embargo, no es que haya puntos determinados de la corteza cuya destrucción pueda anular la conciencia (aunque más adelante vamos a ver que quizás un pequeño componente cerebral muy asociado a la corteza, el claustro, puede tener ese efecto). La desaparición incluso de partes grandes de la corteza puede no afectar a la conciencia. Así, hay personas a las que se extirpó en buena medida, en ambos hemisferios cerebrales, la parte del cerebro más cercana a la frente, o prefontal, y por lo tanto la correspondiente parte de la corteza, que siguieron estando perfectamente conscientes aunque padeciesen luego trastornos del comportamiento (la corteza prefrontal se encarga entre otras cosas del control de la conducta). Además, que un elemento del cerebro sea necesario para la conciencia no quiere decir que intervenga directamente en ella. Pueden, por ejemplo, conformar una suerte de conmutador de la conciencia; puede, por ejemplo, mediar el paso del sueño a la vigilia, pero no contribuir en nada a que en esta haya o no contenidos conscientes, aunque, eso sí, no podría haberlos si ese sistema primitivo no activase el estado general de vigilia. Es el caso de la formación reticular, un disperso conjunto de núcleos neuronales en el tronco cerebral. Sus lesiones pueden inducir el coma, pero no se puede decir que la formación sea un correlato neuronal de la conciencia.

Correlatos y circuitos neurales

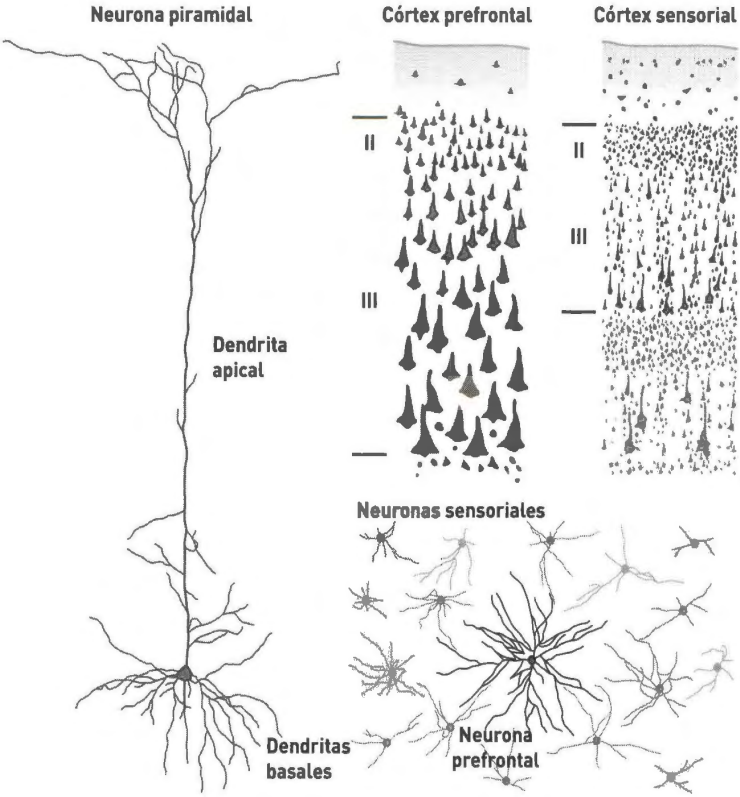
Hay quienes niegan que existan correlatos neurales de la conciencia si no existe un área cerebral que esté específicamente dedicada a la conciencia. Pero de la inexistencia de tal área no se sigue que no haya un correlato neural de la conciencia en el sentido aquí definido sino que, simplemente, aquella pueda ser un fenómeno distribuido cuya base serían agrupaciones cambiantes de neuronas. Hoy sabemos que, en efecto, un correlato neural no necesita ser un área específica del cerebro. Ello no debería suponer una sorpresa para nadie.

De hecho, el procesamiento cerebral de la información requiere el reclutamiento selectivo de neuronas en asociaciones transitorias, temporales, cuyas pautas de coordinación de actividad están detrás de diversas funciones cognitivas o conductuales. Tales asociaciones representan una entidad cognitiva propia incluida en redes neuronales y suelen comprender grupos de neuronas piramidales, un tipo de neuronas con somas celulares con forma piramidal (fig. 2), que se excitan conjuntamente, en determinado orden temporal. Es lógico que la conciencia siga un patrón de distribución similar.

Crick y Koch, como vimos, ya sugirieron que las oscilaciones de 40 hercios podrían ser un correlato neural de la conciencia; tales oscilaciones serían la puerta por donde la información se integrara en la memoria operativa y por tanto queda disponible para procesos ulteriores. El neurólogo estadounidense Benjamin Libet sostenía que el correlato neural de la conciencia es una excitación neural extendida, pues ese tipo de actividad alcanza la disponibilidad global. También se han propuesto «asambleas» neurales «cementadas» por el neurorreceptor NMDA, niveles neuroquímicos de activación, etc. El estadounidense Gerald M. Edelman, otro Nobel de Medicina, como Crick, reciclado al estudio de la conciencia, profundizó en esta noción de la conciencia como proceso y llegó al punto de caracterizarla como la actividad recursiva de ciertos circuitos neurales del sistema talamocortical.

Para Edelman, el problema de integración implica la necesidad de una actividad neural precisa para aunar, en una misma experiencia, todas las propiedades diversas de un objeto (forma, orientación, color, movimiento, profundidad, etc.). Debería darse una actividad sincrónica de todas las neuronas que intervinieran en el análisis del objeto en cuestión. Esa actividad neuronal sincrónica se reproduciría en pulsos de 40-60 hercios. El cerebro estaría adaptado para que circuitos neuronales alejados espacialmente y que procesan distintos atributos de una misma percepción queden funcional e instantáneamente unidos mediante la sincronización de su actividad.

Fig. 2



Las neuronas piramidales están especialmente adaptadas para conectar áreas separadas del cerebro gracias a su axón largo. A la izquierda se ilustra una típica célula piramidal visualizada en una sección coronal. Abundan en todas las capas corticales excepto en la capa I. Su morfología varía en las distintas áreas corticales. Por ejemplo, en regiones asociadas a la conciencia de acceso tales como la zona asociativa del córtex prefrontal presentan un mayor tamaño que las del córtex sensorial (arriba) y amplios árboles dendríticos (abajo, dibujos a escala de dendritas basales visualizadas en cortes horizontales de una neurona piramidal prefrontal en negro y de varias células piramidales sensoriales en gris).

El concepto mismo de circuito neuronal se emplea con frecuencia pero en realidad dista de ser conocido con la deseable profundidad. La ciencia ha avanzado en el conocimiento de las neuro-

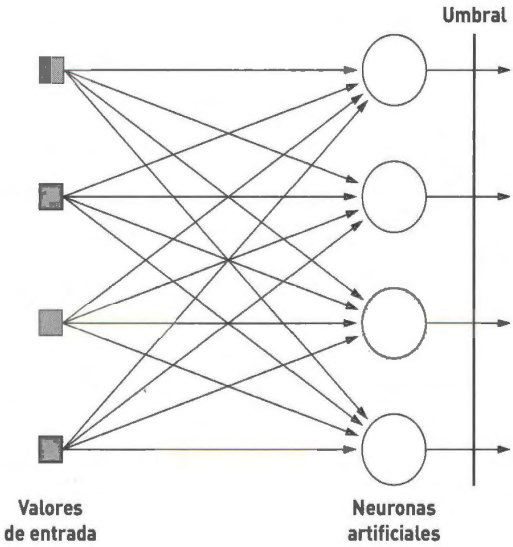
nas, así como en el de la organización de las áreas cerebrales, pero nos movemos inseguros cuando abordamos el nivel intermedio, que es el propio de los circuitos neuronales. Las neuronas reciben *inputs* de varios miles de otras neuronas. Tamaña conectividad solo puede significar, como ya hemos apuntado, que las funciones cerebrales resultan de la actividad concertada de poblaciones de neuronas y no de una actividad individual. Esta red estaría a su vez conectada con el resto del organismo, como por ejemplo con el sistema inmunitario.

Los circuitos neurales se establecen y modifican durante el desarrollo y el aprendizaje. No se sabe con certeza cómo, aunque se cree que la plasticidad hebbiana, el mecanismo biológico en virtud de la cual las sinapsis entre neuronas que se disparan a la vez se refuerzan, juega un papel fundamental. Se ha constatado que la activación recurrente de un grupo de neuronas determina que la asociación creada quede impresa en la circuitería cerebral. Nuestro cerebro llega al punto de que basta la activación de una sola neurona para provocar la evocación de la asociación entera. De ese modo, cuando una experiencia que ha dejado su huella neuronal se da de nuevo, la respuesta es más rápida y precisa. La mayoría de los sistemas biológicos pueden adaptarse a diferentes condiciones y entornos; nuestro sistema nervioso, gracias a la plasticidad, ha refinado esa capacidad y desarrollado mecanismos que, sobre la base de experiencias pasadas, nos permiten anticipar nuevos acontecimientos de futuro. Los modelos que en la actualidad se afanan por simular computacionalmente la actividad de las redes neuronales también se han dotado de esta capacidad de aprendizaje. Gracias a ello, las redes neuronales artificiales han conseguido igualar al ser humano, y superarlo después, en tareas como el reconocimiento de imágenes.

Pudiera ser que esa plasticidad fuera virtualmente ilimitada y que los circuitos se reconstruyeran de manera rutinaria a partir de componentes aleatorios. O tal vez algunas de esas conexiones

> REDES NEURONALES ARTIFICIALES

La supervivencia de un animal depende de su capacidad de analizar el entorno y actuar en él. Comprender de qué modo el cerebro lo consigue constituye uno de los problemas más fascinantes de la neurociencia. ¿Cuál es la secuencia de etapas que convierte claves sensoriales en conducta? ¿Cómo computa el cerebro? Los pioneros de la inteligencia artificial idearon modelos sencillos de la actividad neuronal con la intención de simular las funciones cognitivas de los cerebros orgánicos. Estas redes neuronales están compuestas de neuronas artificiales. Dichas neuronas, como sus homólogas orgánicas, generan un *output* si los *inputs* recibidos superan un umbral determinado; en su caso, un valor numérico. Gracias a algoritmos recursivos, las neuronas artificiales pueden ir ajustando de forma automática sus parámetros internos, incluido el umbral, ajustándose así cada vez más al objetivo «cognitivo» fijado por el programador. Las redes neuronales, por tanto, aprenden por inducción, como lo hacen los niños.



— Esquema del funcionamiento de las redes neuronales artificiales.

están formadas de antemano y son rígidas. Sea como fuere, los circuitos corticales maduros alcanzan una representación estable de información sensorial, al tiempo que conservan su capacidad de adaptarse a cambios en un entorno sensorial. Juntas, las neuronas activas y las neuronas inactivas se hallan en la base de la experiencia consciente.

Para una plena comprensión de un circuito neuronal se requeriría un diagrama preciso de la conectividad sináptica entre las neuronas que la componen. Por sutiles y mínimas que sean, estas diferencias de conectividad durante el desarrollo o entre especies comportarán cambios sustantivos en la conducta del circuito. A la manera de los genetistas, que pasaron de los genes al genoma y de ahí a la red de factores interrelacionados que influyen en la expresión de un gen determinado, los neurocientíficos avanzan del estudio de las neuronas singulares a la conexión e interacción entre redes. A la red completa de conexiones neurales posibles de un organismo se le llama *conectoma*. A finales del siglo pasado, como ya se avanzó en el primer capítulo, se consiguió trazar el conectoma completo del nematodo *Caenorhabditis elegans*. A título comparativo, el análisis del cerebro del hombre implicaría el examen de unos 100 000 millones de neuronas y unos 100 billones de sinapsis, por las aproximadamente 7 000 del gusano. Parece claro que el mapeo completo del cerebro humano todavía queda lejano.

UNA SEDE PARA LA CONCIENCIA

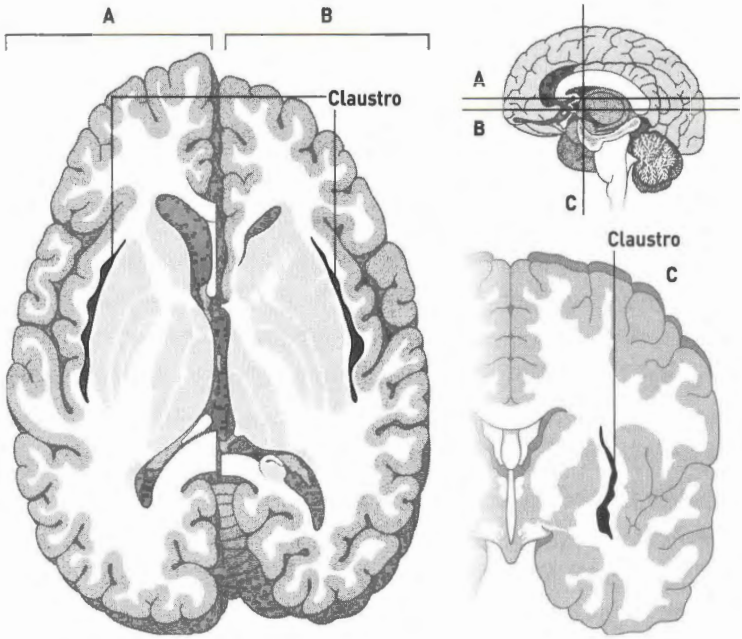
Como hemos visto, no tiene mucho sentido preguntarse dónde residen los procesos intelectivos superiores, conscientes o no, si con esa pregunta lo que se quiere conocer es un punto muy concreto, aunque sí lo tiene preguntarse por el cómo, en el sentido de cómo se distribuyen por la corteza, qué regiones intervienen, en qué orden y con qué retroalimentaciones.

Pero ¿y si la conciencia fuese especial y actuase de forma más concentrada que otros procesos? ¿O si, al menos, hubiese alguna estructura cerebral muy concreta que desempeñase un papel esencial en la conciencia? Al fin y al cabo, el lenguaje se procesa a lo largo de buena parte del cerebro, pero hay una zona pequeña muy definida, el área de Broca, especialmente importante. ¿Podría pasar lo mismo con la conciencia? En este sentido se han avanzado diversos candidatos razonables: por una parte, el giro (o circunvolución) angular —situado estratégicamente en la encrucijada entre el córtex occipital (visión), el córtex temporal (audición) y el córtex somatosensorial (tacto y propiocepción, o percepción de las propias sensaciones corporales) y el claustro, por otra. En 2004, Francis Crick, en un artículo póstumo, propuso que el claustro estaba especialmente vinculado con la conciencia, movido por la idea de que la integración y unión de dispersas informaciones neuronales es la clave de la conciencia, ya que el claustro está especialmente conectado con toda la corteza cerebral.

> Visité a Crick en julio de 2004. Al despedírseme, musitó en tono conspiratorio: «Es el claustro, Ramna, allí está el secreto». Una semana después moría.
>
> VILAYANUR RAMNACHAN

El claustro (fig. 3) es una lámina celular, alargada, fina e irregular, alojada bajo el neocórtex. (Recordemos: el neocórtex está formado por las seis capas más superficiales de la corteza cerebral, es la materia gris que nos permite ver, oír, razonar, pensar y recordar.) Se halla rodeado por todas partes de materia blanca (haces de hebras que interconectan las regiones corticales entre sí y con otras regiones del cerebro). Los claustros —existen dos en el cerebro, uno por cada hemisferio— se encuentran bajo la región insular de la corteza, que está por debajo de la sien, sobre los oídos. El claustro constituye una gran estación central neuronal. A ella envían fibras casi todas las regiones de la corteza.

Fig. 3



El claustro es un área pequeña de la profundidad del cerebro que parece directamente relacionada con la presencia de la conciencia, en razón de sus conexiones, en doble dirección con las demás estructuras cerebrales, y en razón de su integración multisensorial, rasgo este distintivo de la conciencia.

Entre esas conexiones se hallan fibras de retorno, que van desde el claustro hasta la región cortical originaria.

En ratas y ratones, la estructura presenta una asimetría llamativa: cada claustro recibe señales de ambos hemisferios, pero solo las devuelve a la corteza suprayacente de su propio hemisferio. Se ignora si sucede lo mismo en humanos. Tras registrar con microelectrodos la actividad eléctrica en el cerebro de monos despiertos, se confirmó que una parte del claustro tendía a responder a estímulos visuales, mientras que una de las regiones cercanas

era sensible a tonos. Pero ninguna neurona, de forma individual, respondía tanto a fenómenos visuales como auditivos, lo que argüía contra un papel multisensorial del claustro, privándolo así de una función clara.

La situación dio un vuelco cuando, con el fin de detectar el origen exacto de las convulsiones epilépticas incontrolables que sufría una mujer de cincuenta y cuatro años, se implantaron electrodos en regiones profundas del cerebro de la paciente. Los electrodos ayudaban a reconocer, por triangulación, el foco que provocaba los ataques, con el fin de extirparlo mediante cirugía. También permitían inyectar corrientes eléctricas para cartografiar el cerebro e identificar las regiones responsables de funciones importantes (el habla o el movimiento) que debían quedar a salvo en la operación.

La estimulación eléctrica de un solo lado mediante una corriente bastante intensa mermó la conciencia en diez de otros tantos ensayos. La paciente miraba al frente con la vista fija, no respondía a las órdenes y dejaba de leer. En cuanto cesaba la estimulación, la conciencia retornaba, sin que la paciente recordara nada de lo ocurrido durante el período en que estuvo sin conciencia. Se descartó que los episodios de pérdida de conciencia tuvieran que ver con los ataques epilépticos.

El caso de esta paciente reveló, explicaba Koch en su artículo, dos aspectos inéditos hasta entonces. Primero, nunca antes se había informado de un cese y recuperación abrupta y específica de la conciencia, a pesar de decenios de estimulación eléctrica del lóbulo frontal en pacientes despiertos. En este caso, la conciencia, como un todo, parecía conectarse y desconectarse una y otra vez. Además, el fenómeno se producía en un único punto de la materia blanca cercana al claustro y a la corteza. Como no se tenía noticia de que la estimulación eléctrica de la ínsula, una parte de la corteza cercana al claustro, suscitase una pérdida de conciencia, a pesar de su proximidad, los investigadores la atribuyeron al claustro.

Pero la búsqueda de la sede de la conciencia no se entiende sin conocer su experimento por antonomasia: la rivalidad binocular, de la que ya hablamos en el primer capítulo. En un principio, se supuso que la rivalidad entre el percepto de cada ojo obedecía a la mutua inhibición de poblaciones de células que representaban *inputs* del ojo izquierdo y del ojo derecho. Se excitaría una colección de células silenciando a la otra; luego, el proceso se invertía. La investigación apunta ahora a una conmutación automática, completada por procesos activos vinculados con la atención. Esa interrelación de estímulos se da en el córtex. Durante la rivalidad, las dos imágenes entran y salen del ámbito de la conciencia en una sucesión sin fin. Lo que vemos no es superposición de dos imágenes, sino solo una, en una suerte de ruda competición en la que el ganador se lo lleva todo. De ahí la convicción de Crick y Koch de que el contenido de una experiencia visual implicaba su triunfo sobre el resto de estímulos de la misma clase.

TEORÍAS DE LA CONCIENCIA

Hallar sus correlatos neurales, ya sean locales, tipo claustro, o distribuidos, es un avance experimental clave en la investigación sobre la conciencia y como tal, necesario para comprenderla. Necesario pero no suficiente. No todo correlato neural de la conciencia empíricamente identificado resultaría forzosamente constitutivo de un estado consciente. Correlación no es causación. No dispondremos de una explicación auténtica hasta que sepamos cuál es la relación causal entre un correlato neural y el estado consciente con el que se correlaciona, es decir, hasta que dispongamos de una teoría de la conciencia.

Sobre la mente consciente, con certeza solo podemos afirmar que la poseemos. Aunque no podamos describir todas nuestras experiencias, dadas las propias limitaciones del lenguaje, sí pode-

mos sostener que somos conscientes de esto o aquello, y, por ende, aprender algo sobre la conciencia. El cerebro es, después de todo, una máquina procesadora de información. Para que un mecanismo procesador de información comunique que tiene una experiencia subjetiva, interior, debe contener en su seno información al respecto. La máquina cognitiva puede entonces tener acceso a esa información, leerla, resumirla lingüísticamente y aportar un relato verbal al mundo exterior. Con ese telón de fondo, compartido, se han avanzado muchas propuestas. En las páginas siguientes vamos a ver en detalle tres de las más prometedoras: la teoría de la información integrada, la hipótesis del núcleo dinámico y la teoría del esquema de la atención.

La teoría de la información integrada

La conjugación de distintas informaciones (color, forma, movimiento, etc.) en una misma representación indisoluble, que se da entera y no se puede fraccionar, es una característica esencial de la conciencia que las distintas teorías de esta consideran clave. Una teoría, la de la información integrada, formulada por el neurocientífico italiano Giulio Tononi a la que se ha adherido Christof Koch, la pone en su mismo centro de una forma particularmente elaborada y abstracta: a medida que la información se va entretejiendo con formas muy dispares de complejidad creciente se llega en esta teoría a la conciencia, siempre dentro de un marco neurobiológico.

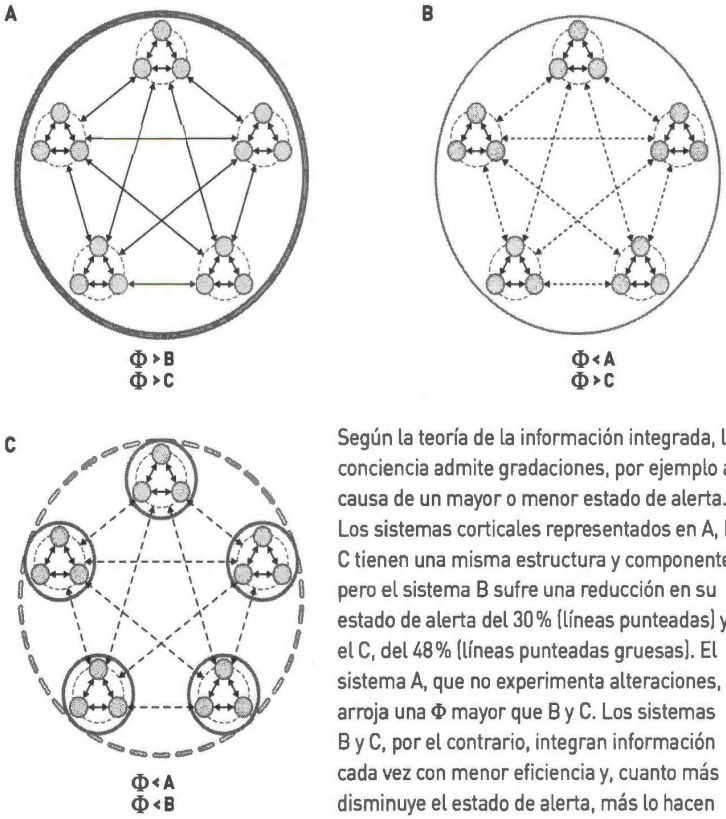
La teoría se asienta sobre dos pilares básicos. En primer lugar, los estados de conciencia se hallan manifiestamente diferenciados; desde la óptica de la información, destacan por su riqueza. Somos conscientes de un número incontable de cosas y asuntos: del recital de piano de nuestra hija, de la variedad de flores del jardín o el cuadro mural de Gauguin. Piense en los fotogramas secuenciales de las películas. Cada fotograma vendría a ser como un corte en el flujo

de conciencia. En segundo lugar, se trata de una información sutilmente integrada. Por mucho que lo intentemos, no lograremos ver el mundo en blanco y negro, ni ver solo la mitad izquierda de nuestro campo de visión descartando la derecha. Cuando observamos el rostro de nuestro amigo, no podemos dejar de percibir si está llorando. Cualquier información de la que seamos conscientes se nos presenta plena y completamente a nuestra mente; no puede fragmentarse. Bajo esa unidad de conciencia subyace una multitud de interacciones causales entre las partes implicadas del cerebro. Si determinadas áreas del cerebro comienzan a desconectarse, fraccionarse y disgregarse, como acontece en el sueño o la anestesia, la conciencia se desvanece y puede cesar. Pensemos en los pacientes con el cerebro partido, aquellos cuyo cuerpo calloso, el haz de 200 millones de cables que unen los dos hemisferios corticales, se ha seccionado para aliviar al sujeto de brotes epilépticos severos. La cirugía divide literalmente en dos la conciencia de la persona: una con una mente consciente asociada al hemisferio izquierdo que observa la mitad derecha del campo visual y otra mente consciente que emerge del hemisferio derecho y contempla la mitad izquierda del campo visual.

Para ser conscientes, pues, necesitamos una entidad única e integrada con un extenso repertorio de estados nítidamente diferenciados. Los discos duros actuales no tienen una capacidad memorística muy distinta de la que posea una persona, pero esa información no está integrada. Las fotografías del álbum familiar que almaceno en mi ordenador no se hallan conectadas unas con otras. El ordenador desconoce que la niña que va madurando es mi hija en distintas épocas de su vida. Para mi ordenador, esa información es igualmente irrelevante, sin sentido; no es más que un tapete arbitrario de ceros y unos. Yo sí extraigo sentido y significado de esas imágenes, porque mis recuerdos se hallan intrínsecamente entrecruzados. Cuanto más interrelacionados, más significativos resultan para mí. Para Tononi y Koch, la cantidad de información integrada que una entidad posee corresponde a su nivel de conciencia (fig. 4).

La teoría se formaliza en una expresión matemática con conceptos de entropía y de teoría de la información. Y así, dado un cerebro particular, con sus neuronas y axones, dendritas y sinapsis, podemos, en principio, calcular el grado de interacción de ese cerebro. A partir de los cálculos, la teoría deriva un número Φ (phi), que establece en qué medida un conjunto de componentes, formados mediante un determinado grado de agregación con respecto a los constituyentes más elementales del sistema, o de varios grados de

Fig. 4



Según la teoría de la información integrada, la conciencia admite gradaciones, por ejemplo a causa de un mayor o menor estado de alerta. Los sistemas corticales representados en A, B y C tienen una misma estructura y componentes, pero el sistema B sufre una reducción en su estado de alerta del 30 % (líneas punteadas) y el C, del 48 % (líneas punteadas gruesas). El sistema A, que no experimenta alteraciones, arroja una Φ mayor que B y C. Los sistemas B y C, por el contrario, integran información cada vez con menor eficiencia y, cuanto más disminuye el estado de alerta, más lo hacen sus Φ respectivas.

agregación distintos, interrelacionados entre sí por relaciones de causa y efecto mutuas, contiene más información que las partes que componen esos agregados, con sus respectivas relaciones de causa y efecto. Si contiene más, adquiere una realidad intrínseca diferente a la de la mera suma de sus partes; no es un mero agregado de partes que no tiene más existencia que la que tengan estas.

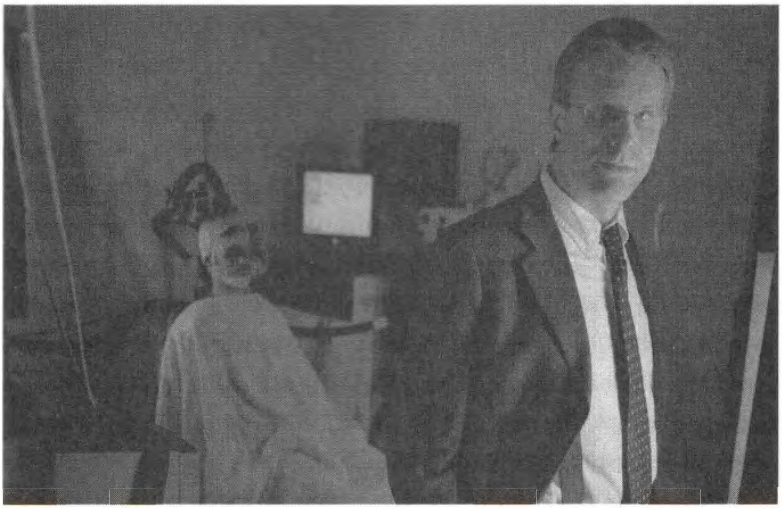
Podemos asociar Φ con la sinergia del sistema, es decir, el valor que se crea por encima de la suma estricta de las partes solo por el hecho de constituirse en un todo. Cuanto mayor es la integración del sistema, mayor sinergia posee y más consciente se muestra. Si las regiones de un cerebro determinado se encuentran demasiado aisladas entre sí o se hallan interconectadas al azar, el valor de Φ será bajo. Pero si están muy interrelacionadas, con múltiples retroalimentaciones, el valor de Φ será elevado. Un valor más alto de Φ indicará un mayor grado de conciencia.

La teoría hace predicciones. El cálculo de Φ es, en principio, posible, aunque muy difícil en la práctica. Ese cálculo se puede hacer para diferentes niveles de agregación del sistema neuronal y diferentes escalas de tiempo en las que ocurren las relaciones de causa y efecto dentro de este. Aquel nivel y escala que arroje un mayor valor de Φ será el correlato neuronal de la conciencia. Si luego se observase empíricamente que esta, sin embargo, se correlaciona mejor con otro nivel y escala, la teoría podría quedar refutada. El nivel de agregación que maximice Φ en el ser humano no será seguramente el más bajo, el de las neuronas una a una, o incluso el de componentes de las neuronas, como las sinapsis, sino el de conjuntos de un número relativamente grande de neuronas, y la escala de tiempo es posible que sea del orden de los centenares de milésimas de segundo, digamos, mucho más largo que los microsegundos que pudiesen durar unas reacciones moleculares y más adecuado para medir el grado de activación de un conjunto grande de neuronas.

La teoría de la información integrada establece una identidad fundamental: una experiencia es una estructura abstracta de cau-

> EL HOMBRE DE LAS DOS TEORÍAS CLAVE

El italiano Giulio Tononi es una figura clave en no una sino dos de las teorías de la mente recientes. Su formación combina la psiquiatría y la neurociencia, y sus primeros e influyentes trabajos se centraron en el sueño, cuya función es la de renormalizar la fuerza sináptica de las neuronas alterada durante la vigilia. Ya en el terreno de la conciencia, a finales del siglo XX publicó una serie de artículos junto al estadounidense Gerald M. Edelman donde se postulaba la hipótesis del nucleo dinámico, un intento de explicar la conciencia sobre bases exclusivamente cerebrales. Uno de los principios de dicha teoría es que los estados conscientes, al integrar una gran cantidad de datos sensoriales y/o cognitivos en una forma totalmente única (cada estado consciente es completo y diferente) contienen un altísimo grado de información. Tononi hizo de este principio la base de una segunda teoría, la de la integración de información. Una de las predicciones de dicha teoría es que la pérdida de conciencia, en estado vegetativo o durante el sueño, comporta pérdida de la capacidad del cerebro para integrar información.



— Giulio Tononi en una sesión de estudio del sueño con un paciente.

sas y efectos entre componentes construidos a partir de los elementos básicos de un sistema de forma que esa estructura sea lo menos reducible posible a sus elementos básicos. La forma más clara de entender qué es un estado mental según esa interpretación es computacional. Y como todo lo computacional, se define en términos lógicos: si pasa tal cosa, el estado hace tal otra y se convierte en el estado cual. El estado mental viene dado, pues, por el esquema lógico de su relación con lo que recibe y lo que saca y con los demás estados, y como todo lo que viene dado por un esquema lógico así, es independiente de su realización práctica eventual.

Una consecuencia inevitable de la teoría es que todos los sistemas que están suficientemente integrados y diferenciados poseen un grado mínimo de conciencia asociado con ellos, ligado a cualquier valor de Φ en cuanto no sea nulo; no solo gatos y perros, sino también ratones, calamares, abejas y gusanos. Admitiría grados de conciencia en las personas con lesiones cerebrales e incluso en las máquinas o en entidades inanimadas.

La teoría es ciega a las sinapsis y a los pulsos de todo o nada del sistema nervioso. Por lo menos en principio, las interacciones moleculares increíblemente complejas dentro de una misma célula presentan una Φ distinta de cero. En el límite, un solo ion de hidrógeno, un protón constituido por tres quarks, tendrán una cantidad ligerísima de sinergia, de Φ. En este sentido, la teoría de la información integrada es una versión científica del pansiquismo, la creencia antigua y difundida de que toda la materia, todas las cosas animadas o no, son conscientes en cierto sentido. Por supuesto que esa teoría no niega el hiato inmenso que separa la Φ del gusano *Caenorhabditis elegans*, con 302 neuronas y la Φ asociada a los 16 000 millones de neuronas corticales del cerebro humano.

Sin embargo, puede haber sistemas complejos con una Φ muy baja o nula. Por ejemplo, cualquier sistema de computación sin retroalimentaciones, en el que los resultados de una capa de cálculo pasen a la siguiente sin que el resultado de esta se retroalimente

en la anterior, y así sucesivamente. En concreto, un sistema informático que imitase perfectamente la red cerebral mediante procedimientos algorítmicos, secuenciales, aunque fuese con múltiples procesadores actuando en paralelo, aunque pasase el más riguroso de los test de Turing, no tendría conciencia. La teoría encuentra así un modo de eludir el problema principal de los modelos de la mente inspirados en la computación, a saber: que no pueden escapar de una de dos posiciones problemáticas, a las que llamaremos *liberalismo* y *chauvinismo*. Por liberal se entiende que una teoría del tipo computacional puede asignar conciencia a entes a los que no querríamos asignársela; por ejemplo, a la población de Estados Unidos completa interconectada de forma que se convirtiese en un procesador, en paralelo o como sea, que produjera los mismos resultados que el cerebro. Por chauvinismo se entiende, en cambio, que sea tan restrictiva que solo se admita la realización de los estados mentales abstractos en cerebros exactamente como los nuestros, cuando no sabemos, por ejemplo, si hay extraterrestres a los que querríamos sin duda atribuir conciencia pero cuyos cerebros, o los sistemas que en ellos equivaliesen al cerebro, fuesen muy distintos a los nuestros. Tononi y Koch abordan el caso de la población calculadora: dos personas que se hablen tendrán una información integrada mucho menor que el de las conciencias por separado, sumamente complejas, y por lo tanto el sistema de las dos personas, y por extensión de cuantas sean, tendrá un grado de conciencia muy bajo, incomparablemente menor al de cada individuo.

Como Tononi y Koch explican, tampoco tendría conciencia una simulación informática que reprodujese perfectamente las conexiones del cerebro humano a todas las escalas, una simulación exacta de nuestra red neuronal. La estructura causal que habría que tener en cuenta a la hora de atribuir conciencia a ese sistema informático no sería la simulada por él, sino la que sus transistores tuviesen entre sí, del mismo modo en el que la simulación de un agujero negro no implica que se haya creado uno en el sí del com-

> LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN INTEGRADA

La teoría de la información integrada (IIT por sus siglas en inglés, *Integrated information theory*), define la conciencia sobre la base de cinco axiomas. Cada axioma, por su parte, exige de todo sistema físico que lo satisfaga que obedezca un postulado concreto. Todo sistema que cumpla los postulados es, según la IIT, consciente en cierto grado, sin importar si ese sistema es orgánico, como en el caso animal, o sintético.

EXISTENCIA INTRÍNSECA

Axioma — La conciencia existe intrínsecamente: cada experiencia es real y existe independientemente de los observadores externos.

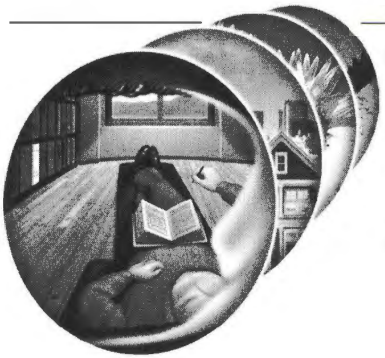
Postulado — Para contar como experiencia, un sistema debe tener mecanismos para existir intrínsecamente. Para existir, debe tener poder de causa-efecto y su estado debe ser distinto de los probables estados del sistema en el pasado y en el futuro.

COMPOSICIÓN

Axioma — La conciencia está estructurada: cada experiencia se compone de cualidades fenoménicas distintas que existen independientemente de ella.

Postulado — El sistema debe estar estructurado en subconjuntos de los elementos del sistema (compuestos en distintas combinaciones). Los conjuntos deben tener poder de causa-efecto sobre el sistema.

INFORMACIÓN



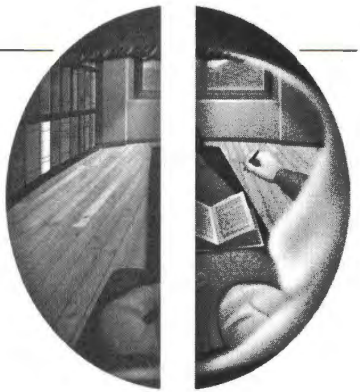
Axioma — La conciencia es específica: cada experiencia es particular y funciona a su manera (está compuesta por un conjunto de cualidades fenoménicas, distintas de otras posibles).

Postulado — El sistema debe especificar una estructura de causa-efecto que sea propia, distinta de todas las otras posibles.

INTEGRACIÓN

Axioma — La conciencia está unificada: cada experiencia es irreducible, no depende de otros subconjuntos de fenómenos distintos.

Postulado — La causa-efecto especificada por el sistema debe estar unificada, debe ser intrínsecamente irreducible a este subsistema ($\Phi > 0$) en el sentido unidireccional más débil.



EXCLUSIÓN

Axioma — La conciencia está definida en contenido y en el espacio-tiempo: cada experiencia tiene el conjunto de distinciones fenoménicas que tiene, ni más ni menos, y fluye a una determinada velocidad, ni más rápido ni menos.

Postulado — La estructura de causa-efecto especificada por el sistema debe ser definida en un solo subconjunto de elementos, ni uno más ni uno menos, ni más rápido ni más lento.

putador. Tononi y Koch sospechan que consistiría en una agregación de pequeños complejos de baja información integrada, y no en un solo complejo con una gran información integrada y existencia intrínseca.

La hipótesis del núcleo dinámico

Esta hipótesis provee una descripción biológica y mecanicista plausible de cómo el cerebro genera estados conscientes. Fue enunciada a finales del siglo pasado por el premio Nobel estadounidense Gerald M. Edelman y Giulio Tononi, quien unos años más tarde la abandonaría por su propio modelo de integración informativa, y sostiene que la responsable de la conciencia es un proceso neural específico, la reentrada, que ligaría áreas dispersas del tálamo y la corteza. El tipo de conciencia objeto de explicación de esta hipótesis es la que Edelman denominó «primaria», es decir, la que resulta de la experiencia sensorio-motora. Este ámbito incluye los qualia, pero no la autoconciencia.

La conciencia, sostiene la hipótesis del núcleo dinámico, es un proceso mental dinámico, integrado y multimodal, fruto de la actividad recursiva de varios subgrupos neuronales. Un primer cribado para la identificación de dichos subgrupos sería el de si afectan la conciencia caso de lesionarse. Esto elimina numerosas estructuras cerebrales fuera del sistema talamocortical como por ejemplo el hipocampo, el cerebelo, el córtex frontal (o, incluso, un hemisferio cerebral completo). Asimismo, los estudios de rivalidad binocular demuestran que, incluso en el seno de dicho sistema, hay zonas activas, principalmente en áreas visuales tempranas, que no juegan un papel en la percepción consciente de una imagen. Otros estudios de la percepción visual apuntan a que la conciencia parece estar correlacionada con grupos neuronales que responden a propiedades invariantes y definitorias de los objetos percibidos, es de-

cir, a grupos neuronales cuya respuesta tiene cierta estabilidad en el tiempo. Por otro lado, procesos neurales rutinarios y automatizados que hacen posible hablar, escuchar, leer, escribir, etc., de forma rápida y eficiente parecen estar funcionalmente aislados del resto excepto en las fases de recepción y salida de datos. Es por ello que difícilmente pueden estar implicados en la creación de estados conscientes (si bien son seguramente fundamentales a la hora de generar el contenido de dichos estados). Finalmente, numerosos modelos parecen apuntar a que solo ciertas interacciones en el seno del sistema talamocortical tienen la fuerza y la rapidez suficiente como para establecer un núcleo activo en pocos milisegundos. Solo los grupos neuronales pertenecientes a un núcleo activo de este tipo, que además estén altamente diferenciados en razón de su complejidad, son capaces de dar a luz estados conscientes. Este sería el núcleo dinámico que da nombre a la hipótesis, donde «dinámico» haría énfasis a sus siempre cambiantes pautas de conectividad. El núcleo dinámico es necesariamente un grupo funcional, es decir, las neuronas o grupos neuronales que pertenecen a él se conectan entre sí mucho más que con otras neuronas o grupos. Finalmente, la complejidad aludiría a que una pauta de conectividad concreta es una de entre una enorme cantidad de otras posibles, es decir, que implica enorme discriminación. El núcleo dinámico no debe entenderse como un conjunto invariable de áreas cerebrales, sino que puede cambiar con el tiempo e incluso entre individuos. Un mismo grupo neuronal puede estar integrado en él o no estarlo en función del tipo de experiencia concreta.

La hipótesis del núcleo dinámico descarta que la conciencia se deba a alguna propiedad intrínseca de las neuronas, sino que se apoya en la correspondencia entre las propiedades particulares de la conciencia y las de ciertos procesos neurales. Serían características de la experiencia consciente ser un proceso unificado, privado, altamente diferenciado, y que evoluciona en una escala temporal de unos pocos centenares de milisegundos. El núcleo dinámico

sería asimismo un proceso, dado que no se trata de un lugar o localización sino de una serie de interacciones neurales que varían en el tiempo. Está unificado y es privado, porque su capacidad de integración debe ser alta, es decir, que debe ser altamente complejo. Este requisito implica que está altamente diferenciado: su particular pauta de activación es una entre muchas posibles. Finalmente, la integración ha de tener lugar en unos pocos milisegundos, de modo que se refleje el devenir temporal de la conciencia.

En la actualidad se admite como un aspecto bien asentado de la conciencia que no basta para ella que el procesamiento de un estímulo sensorial inicial progrese desde los centros primarios de procesamiento (como la región llamada corteza visual primaria o V1, en la parte occipital del cerebro) hasta otros superiores, sino que se dé la realimentación o reentrada desde esas zonas superiores hacia las primarias que postuló Edelman. Para ello, claro está, hace falta que los circuitos implicados estén conectados entre sí. Cada región cortical está conectada de forma específica y discreta con múltiples otras regiones corticales a través de los axones (los cables o colas de las neuronas que transmiten señales eléctricas a otras neuronas) de las neuronas piramidales. Así, la actividad de un grupo de neuronas puede influir en la de otras neuronas ubicadas en áreas distintas, y puede sincronizarse la actividad generada en cada zona. También son muy importantes las conexiones entre el tálamo y la corteza. Sin todo esto, no es posible la conciencia. Las conexiones de larga distancia dentro de la corteza sí desempeñan un papel en los correlatos neuronales de la conciencia (fig. 5).

La hipótesis del núcleo dinámico ha de ser coherente con una teoría evolutiva del cerebro y los grupos neuronales, lo que Edelman denominó «darwinismo neural». Según esta hipótesis complementaria, los grupos neuronales complejos que harían posible el núcleo dinámico (y por tanto la conciencia) se explicarían solo con que la evolución hubiera privilegiado tres procesos. En primer lugar, que la activación simultánea de unas neuronas haya deveni-

Fig. 5

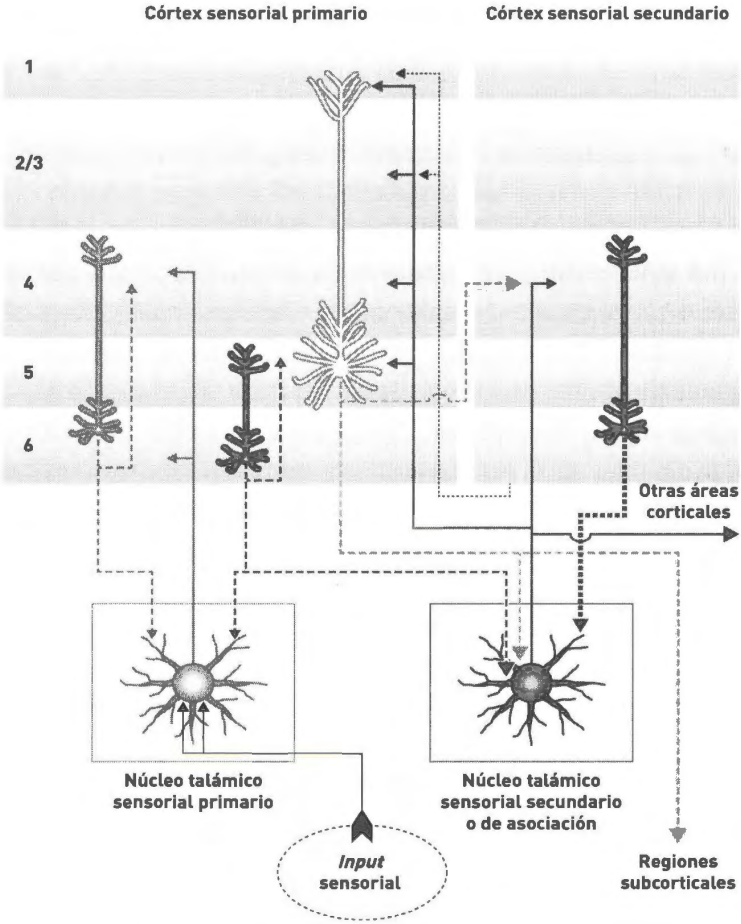


Gráfico que representa algunas de las conexiones más importantes que se activan entre el córtex y el tálamo cuando se procesa un *input* sensorial. Los axones de las neuronas corticales están indicados con líneas de puntos, los axones de las células del tálamo, por líneas continuas. Las células del tálamo sensorial primario inervan principalmente a las dendritas de las capas más profundas del córtex sensorial primario (4-6) mientras que las células del núcleo talámico secundario o de asociación inervan tanto el córtex sensorial primario como el secundario.
En el primer caso, además, su alcance se extiende a todas las capas (1-6).

do, con el tiempo, en una conexión física entre esas neuronas. En segundo lugar, que las configuraciones neurales mejor adaptadas a las experiencias personales del individuo se seleccionaran favorablemente. En tercer lugar, que se configuraran las conexiones de largo alcance, recíprocas y en paralelo entre zonas alejadas del cerebro imprescindibles para que se den los procesos recursivos que mencionábamos con anterioridad.

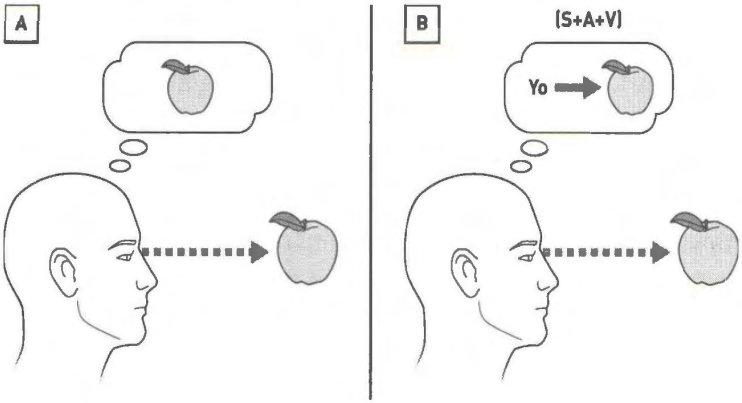
Los qualia, según esta hipótesis, surgirían en cada individuo como resultado de un conjunto de discriminaciones del tipo «caliente» no es «verde», «verde» no es «contacto», etc., integradas en el seno del núcleo dinámico. Los qualia no serían pues causa directa de ningún proceso neural, sino fruto de la integración dinámica de discriminaciones, estas sí causadas por mecanismos neurales concretos. En la medida en que estos mecanismos neurales pueden ser estudiados, los qualia podrían ser objeto potencial de estudio científico. El propio Edelman dejó claro que no pretendía que una explicación causal de los qualia como la suya, o cualquier otra, equivaliera a los qualia mismos. El problema duro seguía, desde ese punto de vista, sin respuesta, aunque ahora ya no constituiría un obstáculo para el estudio científico de la conciencia.

La teoría del esquema de la atención

Muy unida a la teoría de la mente (recuérdese que hablamos de este concepto en el segundo capítulo) es una tercera teoría, la *teoría del esquema de la atención*, enunciada por los neurocientíficos Michael Graziano y Sabine Kastner. El cerebro evaluaría el acceso consciente de los demás individuos y los mismos procedimientos que le permiten hacerlo se los aplicaría a sí mismo, y el acceso consciente sería entonces el resultado de la aplicación de esos procedimientos sociales de la mente a sí misma (fig. 6). Concedemos

conciencia de acceso a los demás, lo cual nos permite predecir su comportamiento a partir de nuestra percepción de en qué fijan su atención, como lo determina, por ejemplo, su postura corporal, dirección de la mirada, etc. Nuestro «cerebro social», esos procesos neuronales que nos ayudan a determinar qué harán los demás, crean una representación perceptiva de un elemento de la realidad, el que otro fije su atención en algo. Esa representación es más elemental que la realidad: consiste en atribuir un etéreo estado de conciencia de acceso al otro, espacialmente ligado a él y que emana desde él hacia el objeto. Pero esa misma maquinaria social se

Fig. 6



Los *inputs* sensoriales compiten entre sí por el uso de los recursos del cerebro, una competición que se salda cuando uno de esos *inputs*, por ejemplo la imagen de una manzana, atrae nuestra atención (imagen izquierda). Supongamos ahora que el cerebro elabora un modelo interno de este proceso para controlarlo mejor. Dicho modelo consta de un estímulo visual (V), de un sujeto (S), y del proceso que los vincula, la atención (A). Como que A no incluye ninguna de las propiedades físicas del objeto al que estamos prestando atención, el cerebro acaba incluyendo en el modelo una representación mental del objeto, es decir, una experiencia subjetiva.

puede aplicar a uno mismo, hacia estar fijando la atención en algo por parte de uno mismo (es decir, hacia el hecho objetivo de que distintas representaciones neuronales de la realidad externa han competido entre sí y finalmente una de ellas ha adquirido preeminencia sobre las demás, a causa de alguna característica de aquello en lo que la atención se fija, un destello de luz, por ejemplo, o porque un estado de atención previo ya está privilegiando una zona espacial, lo cual, a su vez, como retroalimentación, modifica nuestra postura, dirección de la mirada , etc., y refuerza temporalmente esa preeminencia). Entonces la maquinaria social del cerebro atribuye un estado de conciencia que emana de uno mismo. Un examen de segundo orden atribuiría verbalmente a ese estado una descripción verbal del estilo de «mi acceso consciente es una sensación, está dentro de mí, soy *yo*», etc., una conciencia ya autorreflexiva, de sí.

Graziano y Kastner vinculan consiguientemente la conciencia a aquellas partes del cerebro que se encargan de la percepción social, en especial las que predicen en qué fijan su atención los demás: Graziano y Kastner destacan el surco temporal superior y la unión entre las regiones temporal y parietal. Avalan su hipótesis con las consecuencias que tienen las lesiones de esas zonas del cerebro.

Tononi y sus colaboradores consideran que la teoría de información integrada aborda el problema arduo de la conciencia. Graziano y Kastner no son de la misma opinión, seguramente de forma justificada, si por problema arduo se entiende, recordemos el primer capítulo, el de por qué tenemos la experiencia interior que tenemos en vez de ninguna o de otra, o por qué tenemos qualia, o como se quiera decir. Su hipótesis es que la atribución por la maquinaria social del cerebro de conciencia a uno mismo, al estar localizada en el propio cuerpo, la liga a todas las sensaciones que emanan de este (o somastésicas). Pero al fin y al cabo, las sensaciones del propio cuerpo también son qualia.

Si ni siquiera las más sólidas teorias experimentales están seguras de dar plena cuenta de la realidad y significado de la conciencia, ¿habrá que devolverla al campo de la filosofía? No parece ser ese el futuro de la conciencia. Desde distintos enfoques, la ciencia está abriendo nuevos caminos, como veremos en el capítulo próximo y último sobre el futuro de la conciencia.

04

EL FUTURO DEL ESTUDIO DE LA CONCIENCIA

El estudio científico de la conciencia ha dado pasos cruciales, pero desentrañar sus mecanismos sigue suponiendo un gran desafío. Se atisban en el horizonte cambios de gran calado fruto de los grandes proyectos internacionales que estudian el cerebro y de adelantos en las técnicas de observación.

En la ola de euforia que envolvió el éxito de la secuenciación del genoma humano, a principios del nuevo milenio, prendió el sentimiento de que, por fin, el hombre había alcanzado el sueño tan ansiado de conocerse a sí mismo. El genoma se recibió como si fuera el equivalente secular del alma, y así se escribió. Pero el entusiasmo decayó a medida que se fueron secuenciando nuevos organismos y observando cuán próximos del nuestro eran los genomas de primates o la exuberante cantidad de genes de otras especies. A fin de cuentas, se concluía, no éramos tan singulares. Luego, en la llamada *década del cerebro*, se puso la esperanza de encontrar lo genuinamente humano en el descubrimiento de la biología de la conciencia, pero tampoco en este ámbito se ha alcanzado todavía el éxito esperado.

Desde una óptica teórica, el futuro de la investigación sobre la conciencia suele cifrarse en la convergencia de neurociencia y genética, concretamente en técnicas de optogenética y optoquímica y en la reconstrucción cartográfica del cerebro iniciada con la combinación de nuevos métodos para escudriñarlo. Armados con ese

conocimiento, se estará más cerca de averiguar el rol preciso de los correlatos neurológicos en la emergencia de lo consciente.

Hemos visto que, en la búsqueda de bases neurales de la conciencia se reconoce que los correlatos neurales de conciencia no son necesariamente causas neurales de la conciencia. En el tránsito de la correlación a la explicación teórica conviene distinguir entre lo que son las pautas empíricas de los datos y lo que son modelos de explicación teórica de los fenómenos. La correlación observada en los datos empíricos no se refleja automáticamente en relaciones de causalidad en el seno de un marco teórico de explicación de los fenómenos. En ciencia, los datos no son el fin, sino su interpretación. Muchos son los fenómenos cerebrales que pueden asociarse a la conciencia, pero solo hay una clase muy restringida de los que podemos vincular con la base constitutiva de la misma.

La explicación de los fenómenos que se ofrece en neurociencia difiere de la explicación que se requiere en física; en esta, se sigue el modelo hipotético-deductivo, no así en las ciencias biológicas. En neurociencia se buscan explicaciones mecanicistas con modelos de niveles múltiples. El modelo mecanicista describe el fenómeno de interés, su composición interna, su organización dinámica y la estructura causal del mundo que le rodea y con el que interacciona. Cuando se habla de modelos de niveles múltiples, o razonamiento multinivel, se alude a las diversas dimensiones de una explicación que da cuenta de las diferentes dimensiones que afectan al fenómeno.

Esa explicación multinivel puede proceder de abajo arriba, es decir, desde una escala espaciotemporal mínima de los estados conscientes hasta la explicación de la conciencia como un todo. Confía esa estrategia en ascender desde los niveles inferiores en que se apoyan, y de los cuales emergen, los fenómenos de conciencia superiores. A la manera de la biología, que procede del nivel de genoma al nivel de organismo, pasando por el nivel celular e histológico. Y puede la explicación multinivel proceder de arri-

ba abajo, desde el todo hasta los diferentes estados componentes. Es de esperar que la secuencia de acontecimientos neurofisiológicos que preceden a la emergencia del contenido fenoménico de la conciencia, lejos de seguir una cadena lineal de causas, conste de complejas interacciones neurales con bucles de retroalimentación entre influencias de arriba abajo y de abajo arriba, como es típico de los procesos biológicos. Sin que en esa descripción podamos olvidar vías evolutivas ancladas en un largo pasado. En el futuro, una explicación consistente de la conciencia deberá combinar las estrategias metodológicas que procedan de abajo arriba con las que cursen de arriba abajo; las primeras remiten a los estados de conciencia y las segundas a las bases neurales que presumiblemente las apuntalan, para ir cubriendo los diferentes grados de complejidad que se van acumulando en el ascenso desde el correlato hasta la experiencia consciente.

> Siendo un proceso y no un objeto, la conciencia es a un tiempo continua y continuamente cambiante.
>
> GERALD M. EDELMAN

Esas idas y venidas en el estudio de la conciencia recuerdan el esfuerzo de Sísifo. De acuerdo con la mitología griega, Sísifo, rey de Efira, fue castigado a cargar con una piedra hasta la cima de una montaña y cuando estaba a punto de llegar, la piedra volvía a rodar ladera abajo en un proceso sin fin. Se trataba de un exasperante volver a empezar cuando la solución parecía hallarse en la punta de los dedos. Retomar una y otra vez la cuestión, desde el principio, con la esperanza de descubrir, por fin, en qué momento emerge.

También con la conciencia habrá que recorrer trayectos ya hollados, pero con nuevos métodos y nuevas teorías. En el camino hacia el futuro del estudio de la conciencia se han dado ya los primeros pasos y en el horizonte se divisa la esperanza de un salto cualitativo en la comprensión del cerebro. No será fácil, considerada su enorme complejidad y el hiato entre sus moléculas, células,

circuitos y sistemas, por un lado, y lo que posibilitan por otro: percepción, cognición, memoria, emociones, pensamiento, arte, lenguaje y reflexión sobre el papel del hombre en el mundo, en suma, la conciencia.

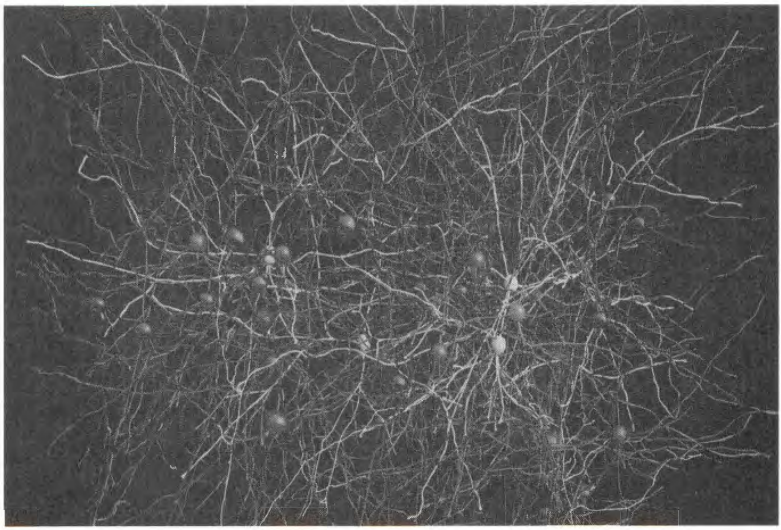
Para progresar en esa dirección, esto es, en el conocimiento del procesamiento cerebral de la información y de la orquestación de la vida mental, los neurocientíficos tendrán que habérselas con seis frentes. En primer lugar, la identificación de los componentes básicos de los circuitos cerebrales (clases de neuronas de un mismo tipo celular, dotadas de propiedades semejantes y encargadas de tareas parecidas); en segundo lugar, descifrar los diagramas del cableado neuronal, integrados en múltiples escalas, desde sinapsis elementales hasta la interrelación del cerebro entero; en tercer lugar, registrar las pautas de excitación, que constituyen el léxico con que se comunican entre sí neuronas de regiones distintas mientras ejecutamos una determinada tarea; en cuarto lugar, la manipulación de las pautas de excitación neuronal con precisión espaciotemporal para descubrir con ello la relación de concomitancia entre el fenómeno neural y la función mental; en quinto lugar, crear modelos informáticos para analizar e integrar cantidades ingentes de datos complejos; por fin, formular nuevas teorías globales, idear experimentos mentales y predecir propiedades novedosas.

GRANDES PROYECTOS INTERNACIONALES

En ese desafío no se escribe sobre el agua. Disponemos de varios proyectos importantes en marcha, de al menos diez años de duración, con una financiación generosa y amplios equipos de investigadores, que han empezado a trabajar en las líneas esbozadas. Destaquemos los tres de mayor ambición: BigNeuron, del Allen Institute for Brain Science, de Seattle; BRAIN, de los Institutos

> BIGNEURON Y LOS MODELOS NEURONALES

BigNeuron no parte de la nada. Las descripciones sobre tipos de neuronas se remontan a Santiago Ramón y Cajal, quien a finales del siglo XIX dibujó cuanto observó al microscopio. Camillo Golgi descubrió la importante diferencia entre las neuronas de axón corto, como las llamadas *neuronas granulares*, muy pequeñas y abundantes en el cerebelo, para conectarse con neuronas cercanas, y las de axón largo, que interconectan regiones del cerebro alejadas, como las neuronas piramidales, que se reconocen por sus somas celulares (el cuerpo de la célula, del que parte ramificaciones, o dendritas, y el axón) con forma piramidal y de cuya importancia para la conciencia hablamos en el capítulo anterior. Las piramidales configuran en torno al 80 % de las neuronas del córtex cerebral. Lo cierto es que, de la infinidad de neuronas existente en el cerebro, apenas se ha muestreado una pequeña cuantía.



— Simulación en 3D de una red de neuronas corticales realizada por un equipo del Allen Institute. Los datos para realizar dicha simulación se obtuvieron con un microscopio electrónico que recogió detalles nanoscópicos de las neuronas.

Nacionales de la Salud de Estados Unidos, y el Proyecto Cerebro Humano, de la Comunidad Europea. Otros programas están auspiciados por Reino Unidos, Japón, Israel, China y Corea del Sur. Complementario de BRAIN es el Human Connectome Project, el Proyecto del Conectoma Humano, del que se espera ofrezca un diagrama estructural del cableado del cerebro humano (*conectoma* es una palabra acuñada por analogía con el genoma, el conjunto de los genes), aunque por sí mismo no podrá identificar las señales eléctricas cambiantes asociadas a cada uno de los procesos cognitivos.

> No podemos explicar cómo procesa el cerebro un pensamiento, una emoción, una sensación o una acción. Para ello, tendremos que mapear las redes del cerebro.
>
> EDWARD BOYEN

BigNeuron se propone avanzar en el conocimiento detallado de las neuronas y en la elaboración de modelos tridimensionales de las mismas. Fue anunciado en 2015 con el objetivo de simular y comprender el cerebro humano, comenzando por la clasificación de las neuronas de diversas especies, lo que significa dar cuenta pormenorizada de decenas de miles de tipos pertenecientes a diversas especies (de la mosca de la fruta al hombre, pasando por el pez cebra y los ratones), así como idear los mejores algoritmos para extraer, a partir de datos microscópicos, las formas finamente ramificadas de esas células.

A imagen del Proyecto Genoma Humano, se diseñó el Proyecto Cerebro Humano, para desarrollar una simulación informática del cerebro en un supercomputador, costeado por la Unión Europea, y la iniciativa BRAIN, acrónimo en inglés (que significa «cerebro») de Investigación del Cerebro mediante el Avance de Neurotecnologías Innovadoras, un proyecto decenal promovido por la presidencia de Estados Unidos para descifrar el modo en que las redes neuronales operan en conjunción e instan la aparición de pensa-

mientos y la toma de decisiones. Se trata de perfilar regiones, desmadejar la inmensa maraña de sinapsis y redes e identificar las posibles anomalías generadoras de enfermedades neurológicas y mentales. Y, en lo posible, descubrir también dónde y cómo se produce el arranque de nuestra inteligencia y del fenómeno de la conciencia.

LA APORTACIÓN DE LA NEUROPATOLOGÍA

A pesar de las aportaciones fisiológicas o descriptivas de la genética y la neurociencia, en adelante, el futuro del estudio de la conciencia no podrá abandonar el camino tradicional que partía de las manifestaciones patológicas para arribar a las condiciones de normalidad. Abunda información recabada del examen de pacientes neurológicos cuyas lesiones alteraron su conciencia. Desde la Antigüedad se sabe que el alcohol, la fiebre, los estupefacientes o un golpe en el cráneo trastornan el curso de nuestros pensamientos, si no lo interrumpe para siempre. El propio efecto de determinados alucinógenos va asociado a una alteración del procedimiento retrospectivo y prospectivo cortical. De la observación de las lesiones del cerebro y su repercusión en la conciencia podemos extraer todavía un conocimiento útil sobre las conexiones entre mente consciente y cerebro.

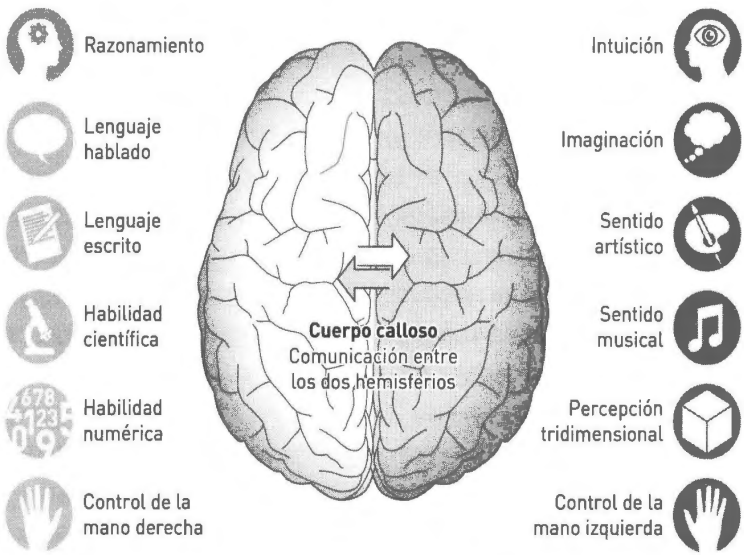
Como ya comentamos, en los años cincuenta, Wilder Penfield realizó un millar de intervenciones en pacientes con daño cerebral. Señalaba la superficie del área lesionada e implantaba electrodos. Puesto que en el cerebro no hay receptores del dolor, esas manipulaciones podían acometerse bajo anestesia local. Los pacientes estaban conscientes y comentaban lo que experimentaban. De esa manera, Penfield identificó las partes del cerebro relacionadas con el procesamiento de *inputs* sensoriales que eran a su vez responsables de las respuestas motoras requeridas para inducir el movimiento

corporal. Esos mapas —reprodujimos uno en el primer capítulo— se encuentran ahora en cualquier manual de neurociencia y se representan a menudo con el símbolo del homúnculo: sobre la superficie del córtex de ambos hemisferios: cada parte del cuerpo tenía una zona correspondiente en la corteza, y eso a veces se representa dibujándolas sobre el borde del cerebro.

Otro de los estudios clásicos relacionados con casos médicos que ya comentamos en el principio de la obra es el de la observación de pacientes con epilepsia severa a los que se les practicó un corte en el cuerpo calloso, el cuerpo cerebral que conecta los dos hemisferios. El resultado fue un cerebro dividido, en el que los dos hemisferios seguían estando unidos por regiones centrales del cerebro; los pacientes mantuvieron un sentido fuerte del yo; de hecho no sufrieron pérdida de las facultades que caracterizan al cerebro. Dichos trabajos, dirigidos por Roger Sperry y Michel S. Gazzaniga en los años sesenta, demostraron que el hemisferio izquierdo cumplía funciones distintas de las asignadas al hemisferio derecho. El cerebro izquierdo tiende a dominar en las tareas de procesamiento verbal, analítico y secuencial; el hemisferio derecho tiende a especializarse en tareas sintéticas, espaciales y creativas (fig. 1). Una palabra escrita en el interior del campo visual derecho de un paciente de cerebro dividido, y por tanto en el hemisferio izquierdo, es reconocida de inmediato: el paciente puede pronunciar la palabra y escribirla. Sin embargo, una palabra que aparezca escrita en el interior del campo visual izquierdo del mismo paciente, y por tanto en el hemisferio derecho, es reconocida, pero como ahora los hemisferios se encuentran desconectados, no puede ni pronunciarla ni escribirla.

Otros casos interesantes para el estudio de la conciencia son los de ictus cerebral que afecta al córtex visual primario. Localizado en el lóbulo occipital puede causar ceguera. Los afectados no podrán ver ya objetos en movimiento, pero siguen conscientes de ellos y pueden señalarlos con buena aproximación, aun cuando crean que

Fig. 1



Esquema que muestra las habilidades de los dos hemisferios cerebrales según los estudios realizados por Sperry y Gazzaniga con individuos a los que se les practicó un corte del cuerpo calloso.

lo hacen de forma aleatoria e intuitiva. Mientras un paciente así piensa que no ve algo pero puede realmente ver, los que sufren anosognosia visual son verdaderamente ciegos, pero piensan que ven. Se refugian en recuerdos y experiencias fabricadas para no decepcionar, porque están convencidos de que esos recuerdos y experiencias son reales. En la prosopagnosia, los pacientes tienen conciencia de objetos (de personas sobre todo), pero sin las asociaciones aportadas por una memoria a largo plazo. Aunque objetos y personas les son familiares, el paciente no los reconoce, un trastorno que Oliver Sacks describió en *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*. Esos casos trágicos aportan pistas de que el

origen de la experiencia consciente surge en partes específicas del cerebro y que aparece alterada o degradada cuando las partes en cuestión sufren daño.

Un gran desafío: frenar el declive cognitivo

Por definición, todas las deficiencias relacionadas con la conciencia pertenecen al terreno de la cognición. En el futuro habrá que seguir investigando en cómo frenar o bloquear el declive cognitivo que acompaña a las enfermedades neurodegenerativas, cuyo mecanismo fino se nos escapa todavía. Se ignoran las causas que determinan ese declive y no asoman en el horizonte tratamientos que puedan frenarlo. Tengamos presente que el cerebro es un órgano cuya estructura y función se encuentran en cambio permanente, no cesa de recibir y reelaborar información del exterior, proceso no circunscrito a un área determinada, sino que está distribuido por muchas regiones. Presenta, pues, una plasticidad característica, que afecta a neuronas, sinapsis y circuitos y, por consiguiente, a la liberación de neurotransmisores y la activación de receptores. Puesto que la neurotoxicidad reduce la expresión de genes necesarios para la plasticidad neural, habrá que privilegiar la investigación sobre regulación y bloqueo de la síntesis de moléculas nocivas (las deacetilasas, por ejemplo, que aparecen potenciadas en el alzhéimer) que se disparan en esas condiciones.

CONFLUENCIA CON LA COMPUTACIÓN Y LA ROBÓTICA

Asimismo, en la conciencia del futuro desempeñarán un papel central las interfaces neurales, es decir, los mecanismos que permitan intercambiar información entre una máquina (el ordenador o un robot) y el sistema nervioso. Se trata de captar y encauzar la activi-

dad eléctrica de las neuronas. Las interfaces cerebro-máquina han pasado del terreno de la ciencia ficción al dominio de la ciencia y la técnica. Con el adecuado entrenamiento, animales y personas pueden lograr que sus pensamientos interaccionen directamente con los computadores. Con nuestro pensamiento podremos controlar el ordenador; los monos aprenden a utilizar claves visuales para ordenar que una interfaz cerebro-máquina mueva el brazo de un robot o el cursor de un computador. A principios de siglo se implantaron ya electrodos en el cerebro de un hombre paralítico que le permitieron controlar un brazo artificial, mover el cursor en la pantalla del computador e incluso abrir el correo electrónico. Más adelante se logró, mediante implantes intracraneanos de electrodos, que el paciente regulara la actividad de las neuronas del lóbulo temporal medio. Desde 2011 hay prótesis que pueden controlarse con implantes neuronales.

Las interfaces se hallan plenamente establecidas en la clínica, así en los implantes cocleares por ejemplo, o en la estimulación eléctrica profunda del cerebro en la enfermedad de párkinson. Los nuevos ingenios resultan del estrecho maridaje entre microelectrónica y neurociencia. Un terreno en el que cada día se traspasan los límites alcanzados, desde que en noviembre de 2014 un equipo de investigación del Instituto de Tecnología de California implantó electrodos que estimulaban en el cerebro la sensación consciente de lo que un brazo robótico estaba tocando.

El futuro se abrirá a cambios exógenos, inducidos, iniciados ya con los implantes cerebrales cuyo refinamiento podrían potenciar la memoria y la inteligencia. Existen empresas investigando la tecnología necesaria para conseguir dichos objetivos cuyos primeros ensayos se han concentrado en la potenciación de la memoria. Theodore Berger, de la Universidad del Sur de California, investiga en el hipocampo, estructura cerebral importante para la memoria de largo plazo y la navegación espacial (fig. 2). En particular, trabaja con sujetos que han recibido ya un implante eléctrico en el cere-

Fig. 2

REEMPLAZO DEL HIPOCAMPO

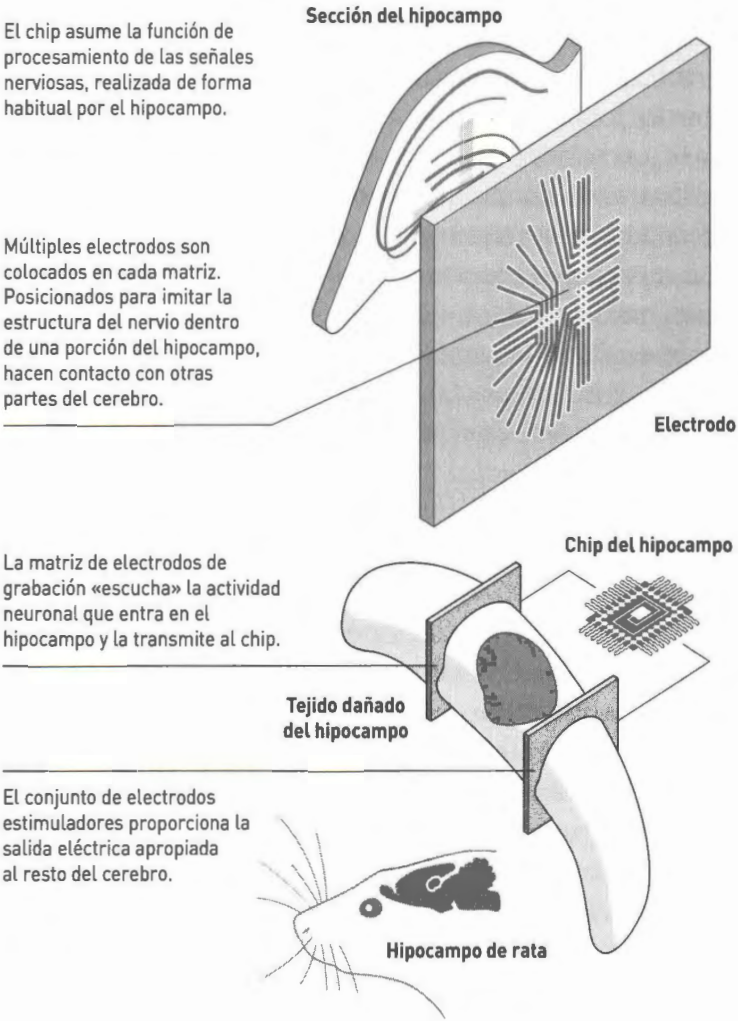


Lámina que ilustra el funcionamiento de una prótesis electrónica que reproduce funciones del hipocampo.

bro para tratar los brotes esquizofrénicos. Con una peculiaridad: no utiliza los implantes para estimular el cerebro, sino para registrar la actividad cerebral, con el fin de conocer mejor el mecanismo de operación de la memoria. Pues se espera que, una vez conocida la forma en que funciona el cerebro sano, podremos imitarlo y remediar las patologías. El razonamiento de fondo es el siguiente: si padecemos mermas de la función cerebral, podríamos fabricar una prótesis para el hipocampo que permitiera restablecer la circuitería y reconstituir la facultad de la memoria.

Los primeros destinatarios de tales implantes serían las personas con trastornos de la memoria. Luego, en una etapa posterior, se podrían fabricar prótesis personalizadas para potenciar la inteligencia y otras funciones en los individuos sanos, con la perspectiva de un horizonte hipotético futuro donde sea habitual que las personas porten incorporados chips que les otorguen mayor facultad cognitiva. Se trabaja pensando en dispositivos sutiles, fáciles de implantar y extraer, con capacidad de registrar y estimular la actividad de múltiples neuronas; para ello se investigan los mecanismos subyacentes de las pautas de actividad cerebral.

Los trastornos de conciencia que se prolongan más allá de los 12 meses tras una lesión cerebral grave se consideraban, durante mucho tiempo, permanentes, sin posibilidad de tratamiento. Pero de un tiempo a esta parte se han multiplicado los indicios de que subsisten redes cerebrales en los pacientes con un estado mínimamente consciente, condición que se caracterizaba por la manifestación intermitente de conciencia del yo o del entorno y la posibilidad de mantenerla con estimulación eléctrica del tálamo. La quiebra de los mecanismos que subyacen bajo la comunicación y el comportamiento dirigido hacia un objetivo se debe en buena medida a la pérdida de conectividad cerebral subsiguiente a una lesión traumática grave. En el futuro habrá que profundizar en el conocimiento de los estados mínimos de conciencia cuyo mantenimiento pudiera reforzarse con adecuadas intervenciones terapéuticas (recordemos

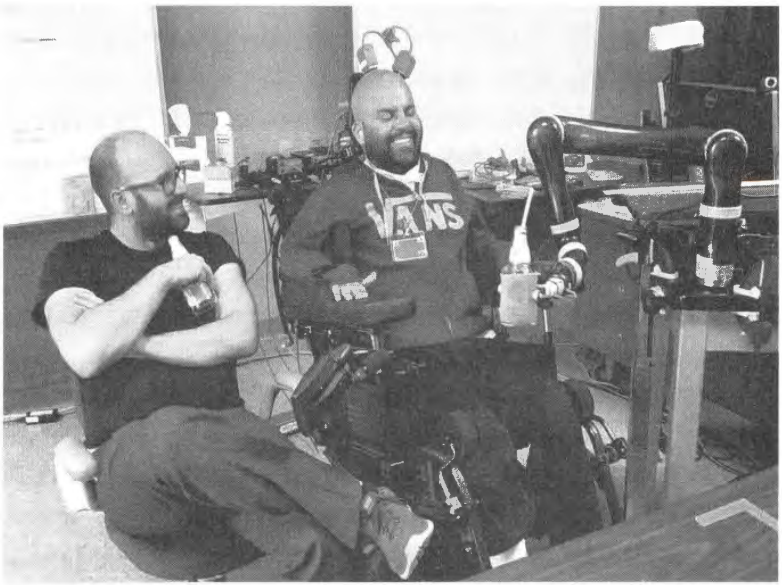
el caso mencionado en el inicio del libro de la paciente en estado vegetativo a la que se analizó la actividad cerebral cuando se le pedía que pensara en determinadas acciones).

La conciencia tiene en la integración o unificación de la experiencia subjetiva su carácter más convincente. Es el llamado *problema de la unión*, con el que nos hemos encontrado ya. Para resolverlo, habrá que seguir procediendo gradualmente. Sistema a sistema. Veamos un caso de la vida ordinaria: los sistemas neurales del cerebro humano que procesan la información auditiva sobre quién habló y qué dijo; ambos se muestran funcionalmente integrados. Abramos el mensaje de voz de nuestro teléfono. Intentamos distinguir si quien habla es varón o mujer, joven o anciano, feliz o triste, un familiar o un desconocido. Queremos saber quién habla y qué dice. Se trata de dos impresiones distintas de un mismo hecho sonoro: reconocimiento de voz (quién) y percepción del habla (qué dice); la primera impresión entraña la participación del hemisferio derecho, la segunda el izquierdo. ¿Dos módulos que trabajan de forma independiente? En absoluto, hay regiones cerebrales en que ambas funciones se integran. Percibirse de algo es saber dónde se está. Dónde estamos recibiendo el mensaje. La clave para interpretar la información espacial se halla, también, en el hipocampo.

NUEVAS TÉCNICAS ANALÍTICAS Y DE IMAGEN

Pero el futuro de nuestro conocimiento de la conciencia no dependerá solo de un cambio de paradigma teórico. Habrá que contar con una innovación técnica drástica que permita aproximaciones hasta ahora desconocidas de los procesos neuronales.

En el curso de los últimos decenios se ha ido forjando un arsenal de técnicas que posibilitan la visualización, el registro y la manipulación de neuronas y circuitos. Súmese el refinamiento de los computadores, que multiplica la capacidad de análisis y sistematización



— Arriba, la primera prótesis que se conecta al hueso, nervios y músculos y se maneja prácticamente con la mente, permitiendo a la persona tener sensaciones. Abajo, un paciente tetrapléjico controlando un brazo robótico con solo pensar en ello.

de cantidades astronómicas de datos. Hemos mencionado las técnicas de neuroimagen. El descubrimiento en 1895 de los rayos X nos abrió una ventana al conocimiento del cuerpo. Pero el cerebro permanecía oscuro, oculto a la visión radiográfica en una caja craneana protectora. La situación perduró hasta 1971, cuando se desarrolló la tomografía computarizada. Pocos años después, a finales del siglo XX, se introdujo otra técnica digital, la formación de imágenes por resonancia magnética. Los tejidos blandos se prestaban, por fin, a nuestra observación. Mediados los ochenta, los especialistas en medicina nuclear se unieron a físicos, químicos y farmacólogos para poner a punto otra técnica depurada que recabaría imágenes de la actividad cerebral en tiempo real, la PET. No tardó esta en convertirse en instrumento decisivo en la cartografía cerebral.

Para leer el estado mental de una persona, se requiere medir su actividad cerebral real. Las neuroimágenes no son explicaciones de nada, sino que se limitan a poner en correlación un estado psicológico (un sentimiento o un pensamiento) con una región cerebral que muestra un pico de actividad.

Tales correlaciones no revelan siquiera que existan módulos anatómicamente dedicados a funciones determinadas. Aunque aparentemente se hallen inactivas, desconocemos en qué se ocupan las regiones del cerebro que no muestran actividad durante esos escáneres. Además, a pesar de haberse obtenido imágenes exhaustivas del cerebro, a pesar de los registros encefalográficos que supervisan la cacofonía de señales eléctricas cerebrales y a pesar del instrumental más avanzado de nuestro siglo XXI, hay estructuras cerebrales cuya función sigue siendo desconocida. Ocurre así con el claustro, de cuya posible intervención en la conciencia ya hemos hablado.

La RMf mide la actividad cerebral con un alto grado de resolución espacial (milímetros) y baja resolución temporal (segundos). Produce un cuadro espacial muy claro de la actividad cerebral, pero no puede resolver cómo son los procesos rápidos del cerebro.

Se trata, en breve, de un indicador de la actividad cerebral basado en el flujo sanguíneo. La resolución que con ella se alcanza es suficiente para extraer información de asociaciones de neuronas que cifran los contenidos pormenorizados de los estados conscientes. El procedimiento típico de lectura del cerebro ajeno comienza por medir las pautas de actividad cerebral que se producen cuando una persona tiene un pensamiento específico; un computador reconoce las pautas de actividad cerebral asociadas con un pensamiento prototipo. Cuenta, para ello, con algoritmos de reconocimiento de pautas que puede clasificar las pautas de activación cerebral de una manera estadísticamente óptima.

> Entender el extraordinario y complejo córtex cerebral requiere un mapa y una parcelación de sus principales áreas.
>
> MATTHEW E. GLASSER

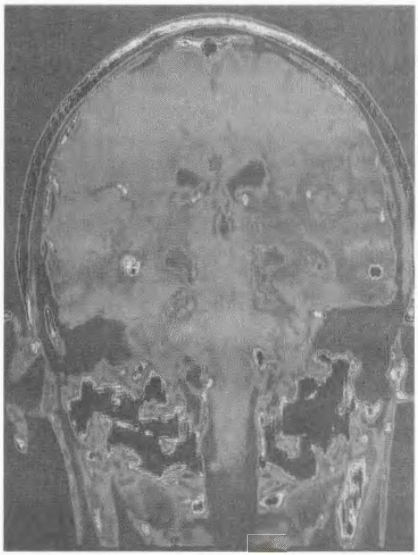
La PET se vale de un marcador radiactivo en el torrente sanguíneo; opera como la RMf, aunque con menor resolución. En los experimentos cognitivos se recurre también a la encefalografía electromagnética, dotada de capacidad para correlacionar la actividad eléctrica de áreas del cerebro específicas y fenómenos mentales, medidos en tiempo real.

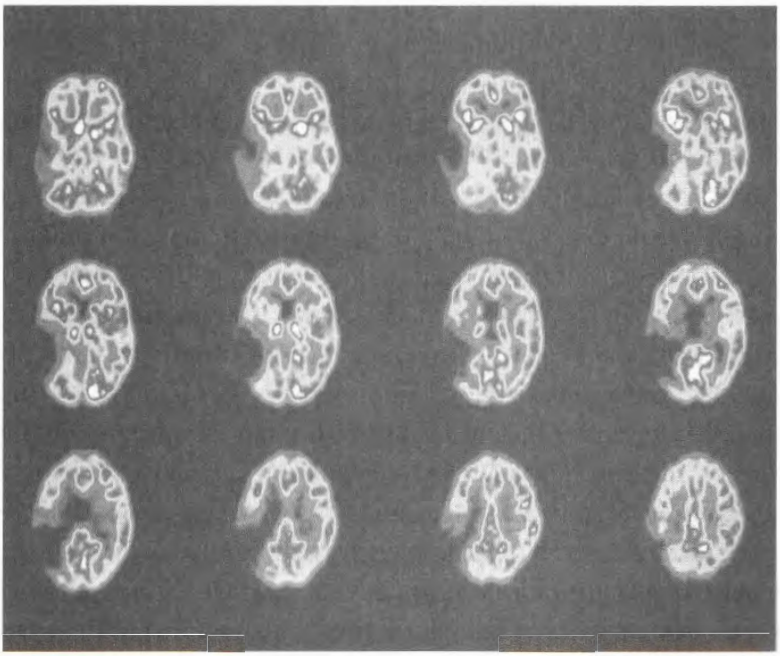
Las técnicas funcionales se dividen, a su vez, en medidas directas e indirectas de la actividad neural. Las señales de actividad cerebral electromagnéticas pueden medirse, de manera directa, con electroencefalografía y magnetoencefalografía. Estas técnicas cartografían la actividad del cerebro con una gran resolución temporal (en el rango de los milisegundos). Su resolución espacial, en cambio, es muy baja (del orden de centímetros). Su alta resolución temporal permite la medición de cambios muy rápidos operados en la actividad neuronal. La electroencefalografía puede emplearse para estudiar la sustancia blanca. Existen modalidades híbridas de técnicas estructurales y funcionales.

Pero no basta con observar las corrientes eléctricas que fluyen por los circuitos neuronales, forma de comunicación del cerebro. Lo ideal sería poder activar y desactivar a voluntad los circuitos y, con ello, controlar la actividad cerebral. Así como los genetistas pasaron del estudio de los genes al de los genomas y de estos a las redes interactivas de factores que regulan y modifican el genoma, de igual modo los neurocientíficos transitan ahora del estudio de neuronas individuales a la investigación sobre redes neuronales, sus conexiones e interacción.

Para visualizar y manipular el cerebro los investigadores disponen de dos nuevas técnicas muy potentes: la optogenética y la optoquímica. Como indica el término, en la optogenética se combina la ingeniería genética con la señalización óptica para activar un circuito cerebral. La optogenética facilita el descubrimiento de mecanismos de que se valen las neuronas para procesar e integrar los *inputs* sinápticos, es decir, las señales que reciben de otras neuronas. Determinados sensores, genéticamente codificados y construidos mediante la fusión de proteínas fluorescentes y proteínas funcionales implicadas en la señalización fisiológica, permiten el empleo de la luz para resaltar en imágenes la actividad celular excitable de grupos extensos de neuronas. Esos sensores pueden introducirse en las neuronas de una manera selectiva y extraen señales neuronales de un cerebro intacto y lo hacen de manera más eficiente que las tinciones orgánicas (fig. 3).

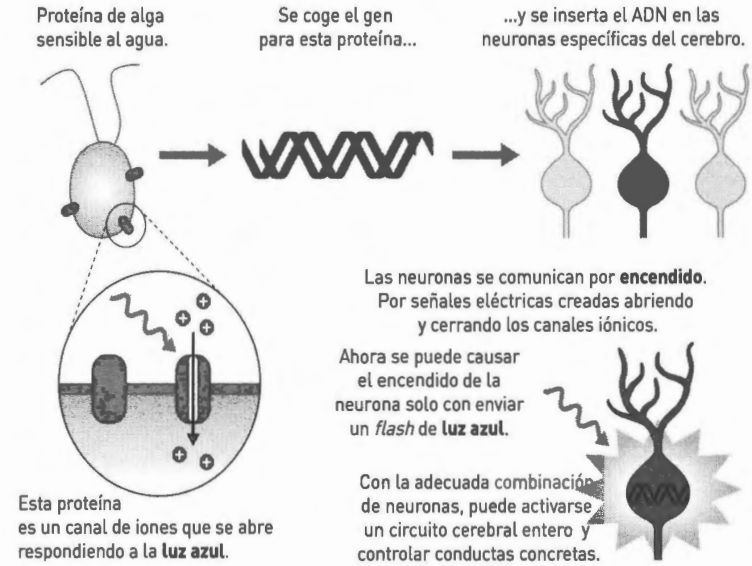
Esta técnica se vale de virus para transportar genes que codifican opsinas, unas proteínas fotosensibles presentes en los receptores de la luz en la retina, que se encargan de convertir los fotones en señales electroquímicas y dirigirlas a neuronas específicas. Una secuencia promotora en el ADN del material genético insertado asegura que solo ciertas células sinteticen la opsina y lo inserten en la membrana (la «piel») de la neurona. En la membrana la opsina actúa como un canal iónico, un poro que se abre y cierra para regular el paso de los iones, partículas cargadas de diversas sustancias





— Arriba (izquierda) tomografía por RMf, a la derecha un individuo sometiéndose a una encefalografía electromagnética. Abajo una secuencia de una PET.

Fig. 3



Si queremos desentrañar los correlatos de la conciencia, no basta con observar las corrientes eléctricas que fluyen por los circuitos neuronales. Merced a la inserción de un interruptor neural, gracias a la optogenética, técnica que combina señalización óptica e ingeniería genética, podríamos dar un paso adelante crucial.

que vehiculan las señales eléctricas de las neuronas, en este caso en respuesta a la luz. Una señal emitida por una fibra óptica implantada en el cráneo abre el canal; como consecuencia, los iones cargados entran en la neurona y se origina una corriente a lo largo de la célula.

En la optoquímica el paciente ingiere un comprimido que contiene una jaula molecular, un estructura molecular donde está encerrada otra molécula, en este caso un neurotransmisor, algunas de las sustancias que intervienen en la propagación de las señales eléctricas de las neuronas. La jaula se activa con la luz: cuando el contenido del comprimido llega al cerebro, un pulso de luz libera

el neurotransmisor, que se fija en la membrana celular y abre un canal que permite la entrada de iones. Estos provocan la excitación de la neurona. Otras técnicas permiten observar moléculas y células de distinto tipo, poblaciones de neuronas, sus proyecciones y la estructura interna del cerebro.

¿Se puede estudiar la conciencia desde la optogenética? ¿Existe acaso un camino principal en el que convergen todos esos senderos esbozados que nos lleve a las puertas de la conciencia? Lo hay. Cierto es que partimos de un hiato profundo entre la investigación básica y su aplicación, entre la neurociencia fundamental y su repercusión en la comprensión de las funciones cerebrales, el tratamiento de las enfermedades mentales o en la potenciación de la conciencia y sus expresiones en las personas sanas. De lo que hoy no se duda es que, para alcanzar esa meta, necesitamos un mapa detallado de las regiones y los circuitos cerebrales al nivel más fino de detalle. Las imágenes actuales del funcionamiento cerebral basadas en la RMf nuclear tienen muy poca resolución. Solo puede distinguir los cambios en la actividad de grandes grupos de neuronas. El futuro de la investigación sobre la conciencia vendrá determinado por el avance en el conocimiento de los módulos que componen el cerebro. El futuro necesita un mapa de carreteras, una cartografía cerebral.

Seis años pudieran parecer demasiados para reconstruir la estructura de un tejido bastante menor que un grano de trigo. Pero eso es lo que tardó Jeff Lichtman, de la Universidad de Harvard, en la primera reconstrucción completa de un fragmento de tejido del neocórtex de mamífero. Lo publicó en 2015. Se trataba, en esencia, de un mapa digital tridimensional que permitía contemplar las posiciones detalladas y relativas de las células de un tejido de 1500 micrómetros cúbicos. Se abría así una ventana para la observación del funcionamiento cerebral. Aunque lejos de la reconstrucción de los miles de millones de neuronas que componen el cerebro humano, meta última de la neurociencia, aquel fue un hito importante.

En agosto de 2016, el equipo coordinado por Matthew E. Glasser dio un salto espectacular al crear un nuevo mapa de la corteza cerebral que la parcelaba en 180 áreas definidas por una multiplicidad de criterios diversos: la función, las conexiones, el grosor de las corteza, etc. Allá donde al menos dos de esos criterios cambiaban se consideraba que empezaba una nueva área cortical; así se iban trazando las fronteras sobre la corteza de unas áreas y otras. De esas 180 áreas, 83 confirmaban identificaciones anteriores y 97 eran nuevas: ningún mapa de la corteza las había definido antes. Este proyecto, efectuado en el marco del Human Connectome Project, concebido para hacerse con las conexiones entre las neuronas —lo que el Proyecto del Genoma Humano hizo con nuestros genes, conseguir un catálogo completo—, combinó distintas técnicas de toma de imágenes basadas en la resonancia magnética. Se creía que el córtex cerebral humano contenía entre 50 y 200 áreas por hemisferio. Pero no había forma de ponerse de acuerdo debido a las dificultades técnicas y prácticas que la tarea entrañaba. La mayoría de las parcelaciones realizadas hasta entonces se basaban en una propiedad solo (arquitectura, función, conectividad o topografía), y muchas cubrían solo una parte del córtex.

Sobre ese cañamazo de fondo habrá que ir perfilando los trazos indicadores de conciencia y sacar a la luz, como en un tapiz, el dibujo de nuestra propia identidad. Quizás entonces el conócete a ti mismo dé un paso definitivo para convertirse en mírate a ti mismo. No otra cosa es la conciencia que reconocernos a nosotros mismos.

LECTURAS RECOMENDADAS

Crick, Francis, *La búsqueda científica del alma: una revolucionaria hipótesis para el siglo xxi*, Madrid, Debate, 1994.

Chalmers, David, *La mente consciente: en busca de una teoría fundamental*, Barcelona, Gedisa, 2009.

Damasio, Antonio, *El error de Descartes: la razón, la emoción y el cerebro humano*, Barcelona, Editorial Crítica, 2006.

Dennett, Daniel, *La conciencia explicada*, Barcelona, Paidós, 1995.

Edelman, G. M., Tononi, G., *El universo de la conciencia: cómo la materia se convierte en imaginación*, Barcelona, Editorial Crítica, 2002.

Koch, Christof, *La consciencia: una aproximación neurobiológica*, Barcelona, Ariel, 2005.

Minsky, Marvin, *La máquina de las emociones*, Madrid, Debate, 2010.

Penrose, Roger, *Las sombras de la mente: hacia una comprensión científica de la consciencia*, Barcelona, Crítica, 1996.

van der Waal, Frans, *¿Tenemos suficiente inteligencia para entender la inteligencia de los animales?*, Barcelona, Tusquets, 2016.

ÍNDICE

adaptación 72, 76
aprendizaje 30, 54, 56-58, 62, 67, 88
área de Broca 91
áreas visuales 39, 104
Aristóteles 20
atención 11-12, 19, 56, 80, 94-95, 108-110

BigNeuron 118-120
bipedismo 64
Boyen, Edward 120

campo visual 29, 96, 122
cartografía cerebral 93, 130-131, 135
cerebro social 65, 70, 72, 109
chips neuromórficos 27-30
claustro 85, 91-94, 130
cociente de encefalización 53, 56-58
cognición 56, 118, 124
coma 9, 84-85
comunicación 31, 57, 60, 70, 73, 123, 127, 132
computación 20, 27, 30, 34, 44, 100-101, 124
correlación 10, 72, 94, 116, 130
correlato neural 82, 85-86, 94
corteza de asociación 67
creatividad 66
Crick, Francis 36-37, 40, 44, 79-83, 86, 91, 94

Darwin, Ch. 49-50, 54
denisovano 74

Descartes, R. 20, 22, 24
dolor 8, 12, 18-20, 49, 57, 121

Edelman, Gerald M. 86, 99, 104, 106, 108, 117
emociones 18, 24, 32, 60, 118, 120
especiación 65
estado
de conciencia 36, 109-110
inconsciente 81
vegetativo 15-17, 84, 99, 128
estímulo 18, 21, 28, 34, 36, 38, 72, 81-82, 92, 94, 106, 109
estrategias de caza 55, 62, 66
experimento mental 42, 118

fibra C 8
frenología 23-24
funciones cerebrales 32, 76, 88, 127, 135

hemisferios cerebrales 22, 34, 54-55, 68-69, 84-85, 91-92, 96, 104, 122-123, 128, 136
herramientas 7, 9, 55, 57-58, 66
hominino 63-66
homúnculo 23, 122
Human Brain Project 11
Human Connectome Project 120, 136

identidad 18, 98, 136
inconsciente 21, 27
información 11, 19, 26-27, 29-30, 32, 36, 41-42, 44, 51-53, 68, 77, 80, 84, 86, 90-91, 95-104, 110, 118, 121, 124, 128, 131
iniciativa BRAIN 11, 118, 120
inteligencia 56, 60, 66, 121, 125, 127
artificial 25-26, 30, 33, 89
maquiavélica 62
submarina 58-60
intencionalidad 70
interfaz cerebro-máquina 125
introspección 43

Koch, Christof 19, 36-37, 40, 80-81, 86, 93-96, 101, 104

lectura de la mente 70
lenguaje 8, 18, 24-25, 51, 56, 60, 62, 65, 67, 72-75, 91, 94, 118, 123
libre albedrío 40
línea media 51

memoria 19, 22, 24, 55, 57-58, 75, 86, 118, 123, 125, 127
mente 7, 17, 20, 22-25, 34, 36, 42, 44, 49, 62, 67, 70-73, 94, 96, 99, 101, 108, 121, 129
microtúbulos 40

neandertales 66-67, 74
neurociencia 7, 13, 20, 25, 33, 36, 41, 44, 70, 83, 89, 99, 115, 116, 121-122, 125, 135

neuronas espejo 72
neuropatología 121
neurotransmisores 31, 68, 124, 134-135

oscilaciones 81, 86

Penrose, Roger 40
percepción 9, 18, 21, 24, 76, 81, 83, 86, 91, 104, 109-110, 118, 123, 128
plasticidad 30, 67, 75, 88, 124
potenciación
  de la conciencia 135
  de la memoria 125
proceso inconsciente 68

qualia 8, 18, 43-44, 104, 108, 110

Ramón y Cajal, Santiago 25, 44, 52, 119
rivalidad binocular 38, 94, 104

sede de la conciencia 36, 94
simetría 51, 68, 92

teatro mental 18
teoría
  de la conciencia 8, 11-12, 19, 44, 94-95
  de la información integrada 95-98, 100-102, 110
  de la mente 62, 67, 70, 72-73, 99, 108
  de la neurona 25
  del color 43
  del esquema de la atención 108
test
  del espejo 55, 60, 63
  de Turing 25-26, 101
Tononi, Giulio 95-96, 99, 101-102, 104, 110
Turing, Alan 25-26

unidad de conciencia 96

volumen cerebral 63

Wernicke, Carl 24-25